Isaac Asimov

LA MEDICION DEL UNIVERSO

PLAZA & JANES, S. A.
Editores

Título original:
THE MEASURE OF THE UNIVERSE

Traducción de
LORENZO CORTINA

Portada de
IBORRA & ASS.

Primera edición: Junio, 1984

Virgen de Guadalupe, 21-33. Esplugues de Llobregat (Barcelona)

Este libro se ha publicado originalmente en inglés con el título de
THE MEASURE OF THE UNIVERSE

(ISBN: 0-06-015129-3. Harper & Row, Publishers. New York. Ed. original.)

Printed in Spain — Impreso en España
ISBN: 84-01-33227-3 - Depósito Legal: B. 22.044 - 1984

GRAFICAS GUADA, S. A. — Virgen de Guadalupe, 33 — Esplugues de Llobregat (Barcelona)

ÍNDICE

Dedicado a Ángel y Satán,
Mis maravillosos gatos

CONCEDIÓ AL HOMBRE EL HABLA, Y ÉSTA CREÓ EL ESPÍRITU,
QUE ES LA MEDIDA DEL UNIVERSO

PERCY BYSSHE SHELLEY,
Prometeo liberado

INTRODUCCIÓN

Es tan vasto el Universo y tan pequeño el átomo, que en ninguno de los dos casos parece posible captar las dimensiones implicadas.

Como es natural, podemos usar números para expresar el tamaño en ambos sentidos, puesto que los números se emplean para representar cualquier cantidad, tanto muy grande como muy pequeña. El problema radica en que, aunque los números se utilicen como símbolo de lo vasto o lo diminuto, no son mucho más comprensibles que las cosas en sí. Se pueden manipular y conseguir que funcionen con mayor facilidad que los objetos en sí —y ésta es su ventaja—, pero no consiguen dar una idea más fácil de las cosas.

Sería realmente humillante que fuéramos incapaces de convivir con el Universo y sus partes, sobre todo considerando que los científicos han de trabajar con ello y que han llegado a los mayores extremos de la medición en aras de la curiosidad y de la necesidad de comprensión.

Pero es muy probable que nada resuelva por completo la dificultad. No hay forma de captar el tamaño del Universo o de un átomo de la misma manera en que apreciamos, por ejemplo, el de una panera, o de un gato, o de cualquier otra cosa que nos sea familiar y que tenga un tamaño suficientemente similar al nuestro propio.

No obstante, se me ocurre pensar que cualquier medición, por extrema que sea, tal vez parezca menos extraña si nos aproximamos a ella poco a poco, a través de una serie de pasos regulares. A fin de cuentas, tal vez no seamos capaces de saltar de un brinco hasta lo alto de un edificio, como lo haría Supermán, pero no cabe duda de que hasta el menos Supermán de nosotros puede ascender por una escalera, o por una serie de escalones, para llegar a la cumbre, paso a paso.

En resumidas cuentas, lo que deseo presentar en este libro, es una serie de escaleras, por las que podamos subir o bajar, a fin de llegar a una comprensión algo más intuitiva de determinadas cosas extremas del Universo.

LA ESCALERA DE LA LONGITUD HACIA ARRIBA

ESCALÓN 1

1 metro (10^0 m)

Empecemos por considerar el Universo a la luz de las mediciones de longitud. ¿Cuál sería la longitud de una línea que se extendiera desde aquí hasta una estrella? ¿Cuál es la longitud de una línea tendida desde un lado del átomo hasta el otro?

Para expresar semejantes longitudes, tendremos que emplear alguna «unidad de medida» familiar divisible en múltiplos y submúltiplos. Por ejemplo, cualquier norteamericano adulto tiene una idea bastante aproximada de la longitud que representa una «milla», por lo cual hablamos de longitudes en términos de equis millas o de tal o cual fracción de milla. Algo se encuentra a 4 millas de distancia, o a 0,5 millas, o a 2,7694 millas, o a 1/1600 de milla.

También podemos medir en pulgadas, o pies, o yardas, recordando que 12 pulgadas equivalen a 1 pie, que 3 pies son 1 yarda y que 1.760 yardas forman una milla. En principio, podemos recurrir a cualquier número de las unidades de longitud usadas en el pasado para medir distancias, o que aún se empleen en algunos casos especializados. Ejemplos de tales unidades podrían ser «brazas», «codos», «leguas», «anas», «palmos», etcétera.

Sin embargo, no tiene utilidad alguna emplear unidades con las que pocas personas están familiarizadas. Por ejemplo, ¿qué utilidad tiene decir que una ciudad se encuentra a 14 leguas de otra, si no se sabe la longitud de una legua? Esto limita las cosas, en Estados Unidos, al empleo de las millas para distancias largas y de las pulgadas para las cortas. Decimos, pues, que cierta estrella se encuentra a tantos trillones de millas de distancia, o que un determinado átomo tiene tantas billonésimas de pulgada de anchura.

Mas, como quiera que este libro no se dirige sólo al lector norteamericano, pues confío en que se traduzca a muchos idiomas, habrá que emplear unidades de medición que resulten familiares para todos.

Pero, afortunadamente, todo el mundo, excepto Estados Unidos, emplea un sistema particular de medición, llamado «sistema métrico decimal», establecido en Francia en los años de 1790. Las reglas de tal sistema se formalizaron y uniformaron mediante un acuerdo internacional en la década de los años 1950. Las nuevas reglas, en francés, se llaman *Système International d'Unités,* lo cual es obvio que equivale al «Sistema Internacional de Unidades» en nuestro idioma. Tales reglas suelen llamarse «versión SI».

Los científicos emplearon cada vez más la versión SI, y es también la que utilizamos en este libro. El lector norteamericano se hará cargo de que no podemos permanecer para siempre a contracorriente de los usos mundiales. Durante muchos años, los científicos norteamericanos han venido usando ya, de forma exclusiva, el sistema métrico y, en realidad, poco a poco, los Estados Unidos lo van ya aceptando. De todos modos, daré el equivalente norteamericano siempre que pueda ser de utilidad.

La unidad SI de medición es el «metro», voz derivada del latín y que significa «medida». No obstante, el sistema SI establece de una forma rígida unos tipos estándar de pronunciación, deletreo, abreviación, etcétera, a fin de que el uso científico de las

medidas constituya un idioma auténticamente internacional, sin posibilidad alguna de equívocos a causa de las barreras idiomáticas.

Este objetivo no es en absoluto excepcional, e intentaré seguir las reglas cuando, en lo más íntimo, no me gustaría hacerlo. El metro se simboliza por «m», por lo cual se puede escribir indistintamente «1 metro» o «1 m». (Téngase en cuenta que «m» es un símbolo y no una abreviación, por lo cual no se debe emplear el punto.)

De todos modos, no debería ser una unidad muy difícil de captar, para los norteamericanos, puesto que para ellos no difiere mucho de su familiar yarda. Un metro equivale a 1,094 yardas, o, aproximadamente, 1 1/10 yardas. Una yarda es igual a 0,9144 metros, o 9/10 de metro en números redondos. Para unas aproximaciones toscas se suelen emplear incluso de forma intercambiable el metro y la yarda.

Dado que un metro es también igual a 3,281 pies y a 39,37 pulgadas, puede resultar útil, como regla práctica, considerar el metro igual a 3 1/4 pies ó 40 pulgadas.

El metro puede compararse con fenómenos naturales: por ejemplo, las ondas sonoras. Si comenzamos en el piano con el do central, llamado también do tres, y nos desplazamos dos notas blancas hacia el mi, éste constituirá el sonido que empleamos, por lo general, para entonar la escala. La onda sonora asociada con dicha nota es, aproximadamente, de 1 metro de longitud.

Las ondas sonoras consisten en aire (o cualquier otra sustancia), el cual es, de forma alternada, comprimido y expansionado por algún tipo de vibración. También hay «ondas electromagnéticas», producidas por la oscilación de un campo electromagnético. Tales ondas, del tipo empleado en la emisión de señales televisivas, se encuentran en las proximidades de un metro de longitud. Las ondas de esta longitud suelen llamarse «ondas de radio», porque al principio se emplearon para la transmisión de señales de radio.

Pero, ¿qué es un metro, en términos de fenómenos tan familiares como nuestro cuerpo?

Una persona extraordinariamente alta (de 6 1/2 pies de talla, en unidades norteamericanas) mide 2 metros de altura. Si tal persona alargase un brazo hacia un lado, con los hombros rectos, la distancia desde la nariz hasta la punta de los dedos extendidos sería, más o menos, de 1 metro. Si anduviese de una forma normal, su paso (es decir, el recorrido de cada uno de sus pies desde una posición detrás del otro a una posición por delante) podría ser más o menos de 1 metro.

De todos modos, esta conexión entre el metro y el cuerpo humano es pura coincidencia. Como explicaré más adelante, la longitud del metro se consiguió a partir de una longitud natural que no tiene nada que ver con el cuerpo humano.

ESCALÓN 2
3,16 metros ($10^{0,5}$ m)

Nuestro «Escalón 1» estaba encabezado por *1 metro (10^0m)*, mientras que éste, como vemos, lleva el enunciado de *3,16 metros ($10^{0,5}$ m).*

Hemos incrementado la medición desde 1 metro a 3,16 metros, mientras subíamos un peldaño en la escalera. ¿Cuál es el significado de números tales como 10^0 y $10^{0,5}$?

Vamos a verlo. Supongamos que he construido la escalera añadiendo una y otra vez alguna cifra constante a 1 metro. Podemos añadir un metro en cada ocasión, avanzando

de 1 metro a 2 metros, a 3 metros, a 4 metros, etcétera. Ésta es una «progresión aritmética».

Cuanto más arriba se sube en la progresión aritmética, tanto menos significativa se hace la adición. Convendría considerar, por separado, distancias de 1, 2, 3 y 4 metros, dado que cada una de ellas tiene sus puntos de interés. Sin embargo, al alcanzar unos números más elevados, ¿qué podríamos decir acerca de los 76 metros que no hubiésemos dicho ya de los 75? La situación sería incluso peor al hablar de 872 metros y proseguir hasta los 873. Además, y tal como hemos hecho antes, deberíamos hablar de miles de millones de metros, y nunca tendríamos la oportunidad de hacerlo así si hemos de avanzar hacia arriba por medio de escalones de 1 metro.

Aunque procediéramos a través de unos escalones más grandes en progresión aritmética —1 metro, 101 metros, 201 metros, 301 metros, etcétera—, el interés se difuminaría a medida que los números se hiciesen más grandes, puesto que la constante adición de longitudes de 100 metros se haría cada vez menos significativa, y nos costaría una eternidad alcanzar el rellano final.

Por supuesto que podemos ampliar la cosa y avanzar por etapas de 1.000.000.000, añadiendo 1 metro; 1.000.000.001 metros; 2.000.000.001 metros, etcétera. Pero *aún* tardaríamos demasiado en llegar al final, e incluso entonces, al avanzar hacia arriba 1.000.000.000 de metros en el primer escalón nos deslizaríamos por una gran cantidad de niveles de cifras que podrían ser de extremo interés.

En resumen, tal vez no nos resultaría útil ninguna progresión aritmética como medio para construir una escalera del Universo. Tardaríamos demasiado tiempo y habría que concentrar excesivamente la atención en unos números muy grandes en el extremo más alejado de la escalera, y muy poco en los números pequeños, en el extremo más cercano de la escalera: el más próximo a nosotros mismos.

La alternativa consiste en *multiplicar* cada número por alguna cifra particular, para obtener así el número siguiente. Esto sería una «progresión geométrica». Si el número por el que multiplicamos es 2, tendríamos 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, etcétera.

La progresión geométrica es la más apropiada para construir una escalera del Universo. Porque tal progresión no sólo se hace mayor con mucha más rapidez que la aritmética —con lo cual podemos alcanzar números realmente grandes en un tiempo razonable—, sino que también da pasos pequeños en el extremo más bajo de la escala y pasos cada vez más grandes hacia el nivel superior, lo cual es algo muy a propósito para nuestro caso.

Pero, ¿qué número debemos emplear como multiplicador para construir una progresión geométrica particularmente útil?

El accidente de la forma en que se mueve nuestro sistema numérico hace del 10 un multiplicador particularmente sencillo. De esta forma, si comenzamos con el 1 y lo multiplicamos cada vez por 10, obtenemos las series 1, 10, 100, 1 000, 10 000, 100 000, 1 000 000, etcétera. (En Estados Unidos se tiene la costumbre, cuando se opera con números grandes, de dividir los dígitos en grupos de tres, separados por comas. Sin embargo, en muchos otros países, se emplean las comas en el sentido de «puntos decimales». Para evitar confusiones, el sistema SI recomienda que dichos grupos de tres dígitos se separen, simplemente, por un espacio, y así lo haremos a partir de este momento.)

Una serie geométrica basada en el 10 como multiplicador es realmente simple; se emplea con mucha frecuencia, y los científicos hablan en este sentido de «órdenes de magnitud». Dos objetos difieren por un orden de magnitud en alguna propiedad medida

si el valor de tal propiedad en uno es 10 veces la del otro. Hay dos órdenes de magnitud de diferencia si la medida de la propiedad de uno es 10 x 10, ó 100 veces el otro, tres órdenes de magnitud de diferencia si la medida de la propiedad de uno es 10 x 10 x 10, ó 1 000 veces el otro, etcétera.

No obstante, si consideramos las series 1, 10, 100, 1 000, 10 000, 100 000, 1 000 000, y así sucesivamente, los números, a medida que se hacen más grandes, ocupan un espacio considerable y resulta difícil estar seguro del número de ceros con sólo echar un simple vistazo. Por dicha razón, los matemáticos han elaborado unos sistemas más compactos para representar tales números.

En lugar de escribir las series de la citada forma, podemos hacerlo así: 1, 10, 10 x 10, 10 x 10 x 10, 10 x 10 x 10 x 10, etcétera. Los números crecientes de dieces aumentan con una firmeza cada vez menos manejable, como es natural, y el conjunto es incluso más confuso y menos fácil de leer y comprender que el original. No deberíamos escribir cada uno de los dieces, sino, simplemente, numerarlos.

Así, 10^1 es un 10 multiplicado por sí mismo; 10^2 es el producto de dos 10 multiplicados entre sí; 10^3, resultado de tres 10 multiplicados entre sí, etcétera. El 10, en números expresados de esta forma, es la «base», y el número superior, el «exponente». El 10^3 se llama «número exponencial».

Es obvia la utilidad de dichos números exponenciales:

10^1 = 10

10^2 = 10 x 10 = 100

10^3 = 10 x 10 x 10 = 1 000

10^4 = 10 x 10 x 10 x 10 = 10 000

10^5 = 10 x 10 x 10 x 10 x 10 = 100 000

Una vez comprobada la progresiva regularidad, dejaremos de escribir más dieces y pondremos:

10^6 = 1 000 000

10^7 = 10 000 000

10^8 = 100 000 000, y así sucesivamente.

Véase cómo el exponente, en una cifra exponencial de este tipo, es siempre igual al número de ceros en la misma cifra escrita sin abreviar. Así, 10^{51} sería, con todos sus números, 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000. Tenemos, pues, que 10^{51} es una forma mucho más breve y un modo mucho menos confuso de escribir el número.

La expresión 10^1 se llama «diez a la primera potencia»; 10^2, «diez a la segunda potencia»; 10^3, «diez a la tercera potencia»; 10^4, «diez a la cuarta potencia», etcétera. Para abreviar, las personas familiarizadas con el sistema omiten la palabra «potencia» y hablan de «diez a la cuarta», «diez a la quinta», etcétera. A veces se dice también «diez elevado a cuatro», «diez elevado a cinco», etcétera.

En los casos de 10^2 y 10^3 es mucho más raro referirse a ellos como «diez a la segunda potencia» y «diez a la tercera potencia»; se dice más bien «diez al cuadrado» y «diez al cubo», por razones de índole geométrica y que no deben preocuparnos.

En cuanto a 10^1, raramente se considera como un número exponencial. Dado que 10^1 es igual a 10, el exponente se omite casi siempre y, en vez de 10^1, se escribe, simplemente, 10.

Los números exponenciales son algo más que una mera forma breve de escribir números grandes, puesto que también simplifica en extremo la multiplicación y la división. Así, tenemos 10 000 x 100 000 = 1 000 000 000, como es fácil comprobar si hacemos la multiplicación con todos sus números. Traducido a cifras exponenciales: 10^4 x $10^5 = 10^9$.

Tenemos que 4 + 5 = 9. Vemos que, en la multiplicación citada en el párrafo anterior, sumamos los exponentes de los dos números que han de ser multiplicados a fin de conseguir el exponente del producto. Y ésta es la regla general para los números exponenciales. En vez de multiplicar números ordinarios, se convierten éstos en números exponenciales y se suman dichos exponentes.

La división es la multiplicación al revés. Así, 100 000/1 000 = 100. En números exponenciales, esto es $10^5/10^3 = 10^2$. Como sabemos, 5 - 3 = 2. La regla general para los números exponenciales es la de que la división implica la sustracción o resta de los exponentes.

Veamos ahora la siguiente división: 1 000/1 000 = 1. Esto está perfectamente claro y es incuestionable. No obstante, supongamos que lo escribimos en números exponenciales. ¿Se convierte en $10^3/10^3 = 10$? Según la regla de la sustracción del exponente, y dado que 3 - 3 = 0, $10^3/10^3$ sería igual a 10^0. Así, el mismo problema, en la división, nos da dos respuestas: 1 y 10^0. La única forma de mantener la consistencia de las matemáticas supone que esas dos respuestas son iguales y que $10^0 = 1$.

En la vida corriente nadie emplea 10^0 en lugar de 1, pero los matemáticos sí lo hacen a veces, cuando el número exponencial guarda simetría o permite aplicar una regla aritmética generalizada. Yo empleo 10^0 en tales escaleras del Universo, en atención a la simetría.

Así, vemos que el Escalón 1 llevaba el título de «1 metro», y luego, entre paréntesis, «10^0 m», ambas cosas significan lo mismo, la una, en números, y la otra, en símbolos exponenciales.

Pero, ¿qué hay respecto al Escalón 2? ¿Por qué no he saltado a un orden de magnitud de «10 metros (10^1 m)»?

Multiplicar por 10 y avanzar a la vez en un orden de magnitud supone dar unos pasos demasiado grandes para mi propósito, por lo menos en esta escalera particular.

En vez de ello, podría multiplicar por 5, pero entonces obtendría unas series no muy claras: 1, 5, 25, 125, 625, 3 125, 15 625, etcétera. Para evitarlo, podría recurrir a un híbrido de cincos y dieces; así: 1, 5, 10, 50, 100, 500, 1 000, 5 000, etcétera.

No obstante, esto nos deja unos escalones de desigual tamaño. Empezando con el 1, hemos multiplicado, primero, por 5, para seguir por 2, por 5, y así sucesivamente.

Lo que queremos, en realidad, es recurrir a dos multiplicaciones para llegar a 10, si bien empleando en cada multiplicación el mismo valor multiplicador. Así, podríamos avanzar cada vez por la mitad en un orden de magnitud.

Así, multiplicaría 1 por algún número, α, que me daría, como es natural, α (cualquier número multiplicado por 1 da un producto que es, invariablemente, el número original). Luego multiplicaría de nuevo α por α y tendría 10. Por tanto, busco una solución para la ecuación $\alpha \times \alpha = 10$. En los casos en que un número pequeño multiplicado por sí mismo da un número mayor, se dice que el número menor es la «raíz cuadrada» del número mayor. Lo que estamos buscando es la raíz cuadrada de 10.

Los matemáticos saben cómo calcular las raíces cuadradas. Por lo general, tales raíces son «irracionales», es decir, ni son un número entero ni fracciones del mismo, sino que sólo pueden expresarse por un decimal sin fin. En un decimal de esta clase no

existe una pauta, por lo cual nunca se puede predecir cuál será el próximo dígito, a menos que se calcule. De todos modos, si no queremos tener demasiados problemas, es posible calcular cualquier raíz cuadrada con tantos decimales como se desee.

La raíz cuadrada de 10 es igual a 3,1622776..., y así sucesivamente. Por lo general, no tenemos que preocuparnos de los lugares adicionales, puesto que 3,1622776 x 3,1622776 = 9,9999996, que está lo bastante cerca de 10 para nuestros propósitos. En realidad, 3,16 se halla lo suficientemente próximo, puesto que 3,16 x 3,16 = 9,9856.

Así, tenemos una serie de 1, 3,16, 10, 31,6, 100, 316, 1 000, 3 160, etcétera. En esta serie, son iguales todos los escalones, puesto que cada número se multiplica por 3,16 para obtener el número siguiente más alto. Dado que en esta serie hay dos escalones para ir de 1 a 10, y de 10 a 100, y de 100 a 1 000, y así sucesivamente, nos movemos, en la escalera, en unos peldaños de mitad de un orden de magnitud.

¿Y qué podemos decir de los exponenciales? Supongamos que queremos transcribir la ecuación 3,16 x 3,16= 10 (aproximadamente) en números exponenciales. No sabemos la forma exponencial de 3,16, por lo cual la llamaremos, simplemente, 10^{α}. Por tanto, conseguimos de este modo la ecuación 10^{α} x 10^{α} = 10^{1}. La regla de los exponentes nos dice que en una ecuación así, $\alpha + \alpha = 1$. En ese caso, α debe ser igual a 1/2 ó 0,5. Por ello, la raíz cuadrada de 10, que es aproximadamente 3,16, puede expresarse así: $10^{0,5}$. Ésta es la razón por la que en mi Escalón 2 la escalera de longitud lleva el título «3,16 metros ($10^{0,5}$ m)».

La serie 1, 31,6, 10, 31,6, 100, 316, 1 000, 3 160... puede expresarse, exponencialmente, así: 10^{0}, $10^{0,5}$, 10^{1}, $10^{1,5}$, 10^{2}, $10^{2,5}$, 10^{3}, $10^{3,5}$..., y sucesivamente.

Tras haber explicado todo esto (lo cual nos facilita cuanto necesitamos saber acerca de exponenciales y órdenes de magnitud para el resto del libro), consideremos ahora el significado de una medición de 3,16 metros.

Se trata de unos 10 3/8 pies, por lo cual la longitud del Escalón 2 tiene, aproximadamente, la altura de un piso en un edificio moderno y rebasa la talla normal de un ser humano, aparte las leyendas de gigantes en cuentos y mitos. El ser humano más alto del que se tiene noticia fue Robert P. Wadlow. Por desgracia, no se trataba de una persona normal, sino que padecía «gigantismo», afección causada por un trastorno hormonal. Creció incesantemente y en 1940, cuando murió, a la edad de veintidós años, tenía, aproximadamente, 2,75 metros (9 pies) de altura. Aun así, es inferior a la longitud del Escalón 2.

En realidad se trata también de algo parecido a un gigante cuasihumano, el mono más alto que haya vivido jamás, extinguido en la actualidad, pero conocido gracias al hallazgo de unos dientes, mandíbulas y otros restos fósiles. Es el *Gigantopithecus* (en griego, «mono gigante»), muy parecido a un enorme gorila que, en posición erecta, medía tal vez 2,75 metros, es decir, la altura de Wadlow, aunque en el caso del *Gigantopithecus* era una altura normal y no tributaria de un trastorno.

Hay animales tan altos como cualquier primate, viviente o extinguido, que alcanzan o rebasan el nivel del Escalón 2. Según un caso conocido, la altura en la cruz de un elefante africano macho, equivale a 3,8 metros.

En lo referente a las ondas sonoras, una de ellas, de 3,16 metros de longitud, es un sol, dos octavas por debajo de la nota sol de la escala ordinaria. Se trata de una majestuosa nota baja (cuanto más alargada es la onda sonora, tanto más profundo es el tono).

En la gama de la Televisión, se encuentra una onda electromagnética de 3,16 metros de longitud, pero se halla ya cerca de la longitud de onda superior de dicha gama.

En la increíble infinidad de medidas empleadas por la Humanidad, mencionaré a veces una o dos que se encuentran en el ámbito objeto de discusión y que, de forma ocasional, aún se emplea en Estados Unidos. Un *rod* (vara, palo o pértiga, denominación tomada del largo palo usado como estándar para dicha longitud) tendría 5 1/2 yardas, que equivale a 5,029 metros: algo más allá de la longitud del Escalón 2, como puede verse, pero bastante por debajo de la longitud del Escalón 3, que presentaremos a continuación.

ESCALÓN 3
10 metros (10^1 m)

Cuando se ideó el sistema métrico, las unidades recibieron nombres diferentes para cada orden de magnitud, y las diferencias eran indicadas por prefijos.

Así, 10 metros equivalen a «1 decámetro». El prefijo se simboliza por «da», para distinguirlo de otro prefijo, que veremos más adelante y en el que se emplea como símbolo sólo una «d». De esta forma, un decámetro puede escribirse: 1 dam.

El prefijo «deca» es la voz griega para indicar diez, por lo que, cualquier persona que tenga conocimientos de griego, entiende al instante el significado de «decámetro». Sea como fuere, basta memorizar el prefijo y el significado, lo cual sirve ya para comprender toda clase de medición métrica. Así, un decapoise equivale a 10 poises, un dekawatt (o decavatio), a 10 watts, ó 10 vatios, etcétera.

Hoy se usa muy raramente el decámetro, o cualquier otra medida métrica que incluya el prefijo «deca». En el sistema SI, los prefijos se emplean sólo cada *tres* órdenes de magnitud, dado que la extensión total de las medidas es aún mayor que las previstas por los inventores del sistema métrico. Si se emplease un prefijo especial para *cada* orden de magnitud, con la amplitud con que ahora los usamos, la cosa se haría innecesariamente complicada y poco práctica. No obstante, una vez dado el prefijo «deca» (lo mismo que otros de la misma índole), lo seguiré empleando, aunque tal vez no de forma invariable.

Una longitud de 10 metros corresponde, aproximadamente, a la altura de un edificio de tres pisos, y no hay ningún animal viviente de esa talla. La jirafa es el ser actual más alto, y la más alta que se haya medido jamás tenía el extremo de los cuernos a sólo 5,8 metros sobre el suelo cuando permanecía erguida, lo cual equivale a la mitad más de la altura de un elefante. (Para expresarlo en términos humanos, el mayor salto de pértiga logrado por un ser humano es de unos 5,7 metros.)

Si incluimos los animales extinguidos, los largos cuellos de los dinosaurios más grandes —como, por ejemplo, el braquiosaurio— se elevarían tanto que la parte superior de la cabeza se encontraría a casi 12 metros por encima del suelo.

Pero las mediciones no han de hacerse necesariamente sólo en sentido vertical. Así, los elefantes más grandes pueden llegar casi a los 10 metros de longitud, midiéndolos desde la trompa hasta la cola, ambas extendidas. Se ha informado de serpientes o caimanes que se aproximaban a los 10 metros, aunque tal vez se trate de exageraciones. Es muy probable que los 10 metros, en cualquier sentido, sea la máxima longitud de cualquier animal terrestre vivo.

Una onda sonora de 10 metros de longitud se halla cerca del sonido más profundo que podamos oír. Las ondas sonoras de unas ondas aún más largas tienen un tono demasiado grave como para afectar el mecanismo del oído humano. Se trata de ondas «infrasónicas» o «subsónicas», y no volveremos a referirnos a ellas.

Las ondas electromagnéticas de esta longitud se encuentran ya en la región de radio de «onda corta». Se denominan así porque tales ondas son más cortas que las empleadas en la radio ordinaria. Las ondas de la región de onda corta se usan también para la «frecuencia modulada» (FM) en la radio.

ESCALÓN 4
31,6 metros ($10^{1,5}$ m)

Al subir otro escalón dejamos muy lejos de nosotros el mundo de los animales terrestres. Una longitud de 31,6 metros es la altura de un edificio de 10 pisos, y el braquiosaurio más alto alcanzaba sólo la altura de 4 pisos.

No obstante, hay animales marinos a los que no afecta la gravedad, dado que el agua los sostiene casi de una forma ingrávida, sea cual sea su tamaño. No han de enfrentarse con los problemas que supone soportar su gran peso sobre unas patas cada vez más macizas. (Los elefantes han de sostener sus cuerpos sobre unos auténticos troncos de árbol, alzándose y bajándose para realizar una fuerza extra, y aunque se mueven con sorprendente velocidad, no pueden saltar... ni una pulgada [2,54 cm]. Los dinosaurios más grandes tenían las patas proporcionalmente más gruesas y macizas, y es posible que la carne y los huesos por sí solos no pudieran soportar nada más grande.)

Las ballenas pueden ser mucho mayores que los elefantes, e incluso superan a los dinosaurios, sin tener por ello necesidad de patas. El agua las sostiene. (No obstante, si una ballena llega a la playa, su peso le comprime de tal forma los pulmones, que es incapaz de respirar y se asfixia.)

Hasta las ballenas de un tamaño moderado superan al mayor de los animales terrestres. La más grande de las ballenas dentadas, el cachalote, mide sólo unos 20 metros de longitud, o sea, dos veces y media el tamaño del elefante más largo, aunque todavía se encuentra bastante por debajo de la marca del Escalón 4. (El cachalote es la única ballena que posee una garganta lo suficientemente grande como para poder tragarse a un hombre.)

Sin embargo, hay ballenas con barbas que no viven de grandes presas como los cachalotes. (El alimento favorito del cachalote es el calamar gigante, para cuya captura se sumerge a enormes profundidades y permanece bajo el agua durante más de una hora.)

Las ballenas con barbas se alimentan de pececillos y camarones, a los que extraen del agua gracias a los bordes cartilaginosos de las barbas, que se extienden desde el cielo de la boca. Dado que los pequeños organismos abundan mucho más que los grandes, las ballenas que se alimentan de organismos minúsculos pueden prosperar y crecer hasta alcanzar unos tamaños superiores a los de aquellas que se alimentan de grandes presas.

La mayor de las ballenas con barbas es la «ballena azul», que vive en las aguas del Antartico. La ballena azul más grande jamás capturada y medida tenía 33,3 metros de longitud.

En cuanto a la simple longitud, se tienen algunos informes ocasionales acerca de solitarias de los intestinos de la ballena, y de medusas, que eran aún más largas. Una medusa poseía unos tentáculos de 36 metros de longitud. Si unos tentáculos se extendían en una dirección y los otros en la opuesta, podría registrarse una amplitud máxima de 70 metros.

Sin embargo, los tentáculos de medusa, igual que las tenias o solitarias, tienen muy poca consistencia y pueden considerarse de naturaleza unidimensional. Podemos decir

razonablemente que la ballena azul es el animal sólido más largo y grande que vive o haya vivido *jamás* en la Tierra.

Aunque fuera sólo por esta razón, la ballena azul debería ser respetada y cuidada por el hombre, pues se trata de un asombroso ejemplo de la potencialidad de la vida; pese a lo cual, su número disminuye rápida y trágicamente.

Volviendo al mundo humano, un atleta bien preparado puede saltar, como máximo, 8,9 metros, es decir, más o menos la longitud de un elefante, y conseguir un lanzamiento de peso de 21,8 metros como máximo, o sea, aproximadamente la longitud de un cachalote.

ESCALÓN 5
100 metros (10^2 m)

Inicialmente, en el sistema métrico se fijaron los 100 metros como equivalentes a un «hectómetro», simbolizado por «hm». El prefijo «hecto-» procede de la voz griega «hekaton», que significa «cien». Raramente se emplea el prefijo «hecto».

Una longitud de 100 metros rebasa al mundo animal. Equivale a la altura de un edificio de 33 pisos. Mi propio apartamento, en Manhattan, que se halla en el piso trigésimo tercero, se levanta a unos cien metros del suelo.

Y ya que he citado Manhattan, digamos que en su mayor parte está dividido de Norte a Sur por calles que corren hacia el Este y el Oeste. La distancia entre dichas calles (una manzana de casas) es de unos 80 metros. Por tanto, una distancia de 100 metros es 1 1/4 de manzanas de casas.

De todos modos, el mundo de la vida no queda completamente ignorado en el alcance del Escalón 5. Aunque los animales no se consideran en él, sí se incluyen las plantas. Algunas especies de árboles son más altas que la más larga de las ballenas. Los árboles más altos son las secoyas, que crecen a lo largo de la costa californiana. Se dice que el más alto de estos árboles alcanzó una altura de 112 metros, o sea, cuatro veces más largo que la más larga ballena azul, suponiendo que ésta pudiera aguantarse horizontalmente sobre su cola.

Se tienen noticias de árboles aún más altos, ya sean los abetos de Douglas, ya los eucaliptos australianos, que según algunos, alcanzan los 150 metros, lo cual no ha podido comprobarse. Naturalmente, si se incluye el sistema de raíces del árbol, la altura total desde la rama más alta hasta la raíz más profunda de un árbol de éstos, puede superar los 200 metros.

Los logros humanos compiten con el alcance de longitud del Escalón 5. En las pruebas deportivas, el récord de lanzamiento de jabalina es de 94 metros, o sea, aproximadamente la altura de una secoya.

A este respecto, los seres humanos pueden superar en cierto sentido a cualquier forma de vida, puesto que levantan estructuras superiores a las conseguidas por cualquier otra forma de vida, y esto lo consiguieron incluso sorprendentemente pronto, como puede comprobarse en la Historia de la civilización.

Por ejemplo, la Gran Pirámide de Egipto, construida hace 4 500 años, mide 146 metros de altura. Se trata de un impresionante cúmulo de piedras, que sería muy difícil levantar hoy, y que el hombre llevó a cabo con ayuda de la fuerza muscular y recurriendo a ingeniosos mecanismos, manejados por miles de hombres durante largos años. (Durante tres mil años fue la estructura más alta realizada por el hombre.)

Las ondas electromagnéticas de 100 metros de alcance se encuentran en el límite superior de la banda de onda corta de radio.

ESCALÓN 6
316 metros ($10^{2,5}$ m)

Con este escalón alcanzamos una longitud equivalente a cuatro manzanas de casas o a la longitud de uno de los largos bloques que atraviesan Manhattan, por ejemplo, desde la Quinta Avenida hasta la Avenida de las Américas. (Pido disculpas por ser tan provinciano y referirme con tanta frecuencia a Manhattan, pero se comprenderá mi actitud si digo, en primer lugar, que vivo en Manhattan y lo amo; en segundo lugar, que se trata de simple geometría, y en tercer lugar, que tal vez sea la ciudad mejor conocida por los no residentes.)

El alcance del Escalón 6 se halla aún dentro del mundo de las edificaciones. En la baja Edad Media, las mayores catedrales de la Europa occidental empezaron a superar a la Gran Pirámide. La aguja central de la catedral de Lincoln (Inglaterra) se eleva hasta los 160 metros.

Naturalmente, tanto las pirámides como las catedrales fueron levantadas gracias al entusiasmo religioso a través de arduos trabajos. La primera estructura secular que superó en altura a las catedrales fue el Monumento a Washington, un obelisco de 170 metros terminado en 1884. Tenemos aquí un caso en que el empleo del sistema métrico oscurece un hecho interesante. El Monumento a Washington tiene una altura exacta de 555 pies y 5 pulgadas).

La altura de este monumento fue ampliamente superada en 1889 por la Torre Eiffel, elevada en conmemoración del centenario de la Revolución Francesa. Es una estrecha torre de acero, más bien que un edificio en sí, el esqueleto de un edificio, y al principio sólo se pretendió que fuese una estructura temporal. Levantó una tormenta de protestas por parte de los parisienses, quienes vieron en la construcción algo que desentonaba con la ciudad. Sin embargo, sigue en pie, y supongo que los parisienses han acabado por resignarse a su presencia.

La Torre Eiffel tiene casi exactamente 300 metros de altura, dos veces la de la Gran Pirámide, con lo que, por primera vez, una estructura hecha por el hombre se aproximó al nivel de longitud del Escalón 6.

Pese a ello, ninguna de estas estructuras fue prevista para vivir y trabajar en ellas. Eran tumbas, memoriales, lugares de culto.

Hasta mediados del siglo XIX, los edificios de viviendas y oficinas nunca habían alcanzado una altura superior a cuatro o cinco pisos, ya que el esfuerzo de subir escaleras es excesivo a partir de aquí. El primer ascensor entró en servicio en 1859, y a partir de entonces se mejoró con rapidez. En efecto, al emplear esqueletos de hierro y acero, en vez de ladrillos, para sostener el peso, los edificios altos comenzaron a ser auténticamente prácticos.

Tales edificios, llamados hiperbólicamente «rascacielos», empezaron a construirse en varias ciudades norteamericanas, particularmente en la isla de Manhattan, la cual, debido a sus sólidas falanges de altos edificios, se ha convertido en un lugar único en el mundo.

A principios del siglo XX, los rascacielos se acumularon en el nivel del Escalón 6. La torre del «Metropolitan Life Insurance Building», terminado en 1909, se eleva a 213,34 metros (exactamente, 700 pies) por encima del suelo.

El «Woolworth Building», concluido en 1913, tenía una altura de 241 metros, y durante un cuarto de siglo fue el edificio de oficinas más alto del mundo. (Cuando yo era niño, «saltar por encima del Edificio Woolworth» era una expresión proverbial para referirse a una proeza imposible, y yo mismo la empleaba con frecuencia, aunque no tenía la menor idea de lo que era el «Edificio Woolworth».)

Hasta 1930 no se construyó en Manhattan un edificio de oficinas que superara la Torre Eiffel, con lo cual se convirtió no sólo en el edificio de oficinas más elevado del mundo, sino también en la estructura más alta, de cualquier clase, hecha por el hombre. Se trataba del «Edificio Chrysler», de 319 metros, con lo cual se convertía en la primera estructura elevada por encima del nivel de longitud del Escalón 6.

Sin embargo, meses después fue superada por el «Empire State Building», de 381 metros de altura.

A su vez, este edificio conservó el récord durante un cuarto de siglo, hasta 1973, en que las torres gemelas del «World Trade Center», en Manhattan, se elevaron hasta una altura de 411 metros. Al año siguiente, fueron superadas por la «Torre Sears», en Chicago, con sus 443 metros. Hasta ahora es el edificio de oficinas más alto del mundo, aunque acá y allá hay algunas antenas de televisión que son más elevadas, pues algunas de ellas alcanzan alturas superiores a los 600 metros.

Podemos expresar de una manera más espectacular las alturas de tales edificios diciendo que el «Empire State Building» tiene una altura de 4 3/4 manzanas de casas, y la «Torre Sears», la de 5 1/2 manzanas.

Los mayores transatlánticos tienen una longitud cercana a la altura de los rascacielos. En el tiempo en que se acabó el «Woolworth Building», se construyó el transatlántico británico *Lusitania,* tan largo como el edificio más alto. El transatlántico francés *France,* botado en 1961 —con mucho, el barco más largo—, tenía 315,5 metros de eslora, o sea, más o menos tan largo como alto es el «Edificio Chrysler».

Las ondas electromagnéticas de 316 metros de longitud se encuentran a mitad de camino de la familiar banda de radio de «amplitud de modulación» (AM).

Una medida común bastante familiar, en Estados Unidos, y que se aproxima al nivel del Escalón 6, es el «furlong» o «estadio». Originariamente era la longitud de un surco arado en un campo, y equivalía a 40 «rods» o varas, ó 220 yardas, en sistema métrico, 201,17 metros; o sea, que 316 metros suponen 1,57 estadios. (Las pistas de los hipódromos se siguen midiendo, de forma rutinaria, en estadios o «furlongs».)

ESCALÓN 7
1 000 metros (10^3 m)
1 kilómetro (10^0 km)

Cuando se estableció por vez primera el sistema métrico, se introdujo el prefijo «kilo-» para significar 1 000 como unidad básica. Tal prefijo deriva de la voz griega «chilioi», que significa «mil». Así, un «kilómetro», simbolizado por «km», equivale a 1 000 metros.

El kilómetro es tres órdenes de magnitud mayor que el metro, y la regla nos dice que los prefijos distintivos se usan cada tres órdenes de magnitud, a fin de evitar la manipulación de cifras demasiado grandes como para resultar convenientes.

En este libro seguiré empleando la unidad básica —en este caso, el «metro»— en la cabecera de cada escalón, por mor de la continuidad. Sin embargo, mantendré la unidad prefijada, y emplearé dicha unidad sólo en el cuerpo del escalón.

Así, las ondas electromagnéticas de 1 kilómetro de longitud (y no diré 1 000 metros) se encuentran en la zona de «onda larga» de la banda de ondas de radio. Son más largas que las usadas en las transmisiones corrientes de radio. Las ondas largas tienen varios usos especializados, y pueden ser indefinidamente largas. A partir de ahora no me referiré más a las ondas de radio después de este escalón.

El kilómetro es la unidad preferida en la vida corriente para distancias largas, y el metro, para distancias más cortas. Al igual que el metro es el equivalente, *grosso modo*, de la yarda como medición corriente, el kilómetro es un equivalente aproximado de la milla. Sin embargo, digamos que esta comparación no es tan próxima como en el caso del metro/yarda, puesto que 1 kilómetro = 0,6214 millas y 1 milla = 1,609 kilómetros.

Más brevemente, un kilómetro es 5/8 de milla, y una milla, 1 3/5 kilómetros. Para decirlo de otro modo, 8 kilómetros = 5 millas; expresado de otra forma, un kilómetro equivale a 3 281 pies ó 1 094 yardas, mientras que una milla son 5 280 pies ó 1 760 yardas; o, también, un kilómetro equivale a 12,5 manzanas de casas, mientras que una milla comprende 20 manzanas.

En la ciudad de Nueva York, un kilómetro representaría la distancia entre la Quinta Avenida hasta mitad de camino de las Avenidas Octava y Novena, hacia el Oeste; o desde la Quinta Avenida a la Primera Avenida, hacia el Este. Central Park, que se extiende desde la Quinta Avenida a la Octava Avenida, tiene una anchura de 0,8 kilómetros.

Al alcanzar el nivel del Escalón 7, hemos superado en altura a cualquier cosa hecha por el hombre. Ningún ser humano ha construido nada que tenga un kilómetro desde la base a la cúspide. Por otra parte, hay elevaciones naturales más altas. Una montaña de sólo 1 kilómetro de altura sobre el nivel del mar no es el ejemplo menos impresionante.

Ben Nevis, en la Escocia centrooccidental, es el mayor pico de Gran Bretaña (que, en modo alguno, constituye una isla montañosa), y alcanza una altura de 1,34 kilómetros.

En el nivel del Escalón 7 podemos ya empezar a hablar de cuerpos astronómicos. Los hay de todos los tamaños, a partir de las motitas de polvo que caen. Si nos limitamos a cuerpos lo suficientemente impresionantes como para recibir nombres, empezaremos por hablar de pequeños asteroides que eventualmente rozan de cerca a la Tierra (en distancias astronómicas) y que, por ello, se llaman, con evidente exageración, «rozadores de la Tierra». El más conocido de éstos es Ícaro, y no sólo a causa de su periódico acercamiento a la Tierra, sino a su gran aproximación al Sol en uno de los extremos de su órbita.

La distancia de un lado a otro de Ícaro, o sea, su «diámetro», es, según podemos estimar, de algo más de 1 kilómetro. Esto significa que si pudiera colocarse sobre Manhattan, ocuparía el tercio inferior de Central Park (probablemente rozando mi casa de apartamentos), con lo cual la isla tendría una montaña, aproximadamente, del tamaño del Ben Nevis.

ESCALÓN 8
3 160 metros ($10^{3,5}$ m)
3,16 kilómetros ($10^{0,5}$ km)

En el ámbito del Escalón 8 rebasamos ya la milla, puesto que 3,16 kilómetros son casi 2 1/4 millas. Esto representa la amplitud Este-Oeste de la isla de Manhattan, en su parte más ancha; y es un poco menos largo que Central Park, que se extiende desde la Calle 59 a la Calle 110, con casi exactamente 4 kilómetros de longitud.

Existen algunas otras mediciones no métricas, familiares para algunos norteamericanos, que se encuentran en este ámbito. En primer lugar, la «milla náutica» (llamada también «milla geográfica» y «milla marina»), usada en la mar. Según un acuerdo internacional, se le ha asignado una longitud de 1,852 kilómetros, lo que la hace igual a 1,1516 millas ordinarias (llamadas también «millas terrestres»), ó 2 025,4 yardas.

¿Por qué existe esa diferencia entre la milla marina y la terrestre? La milla marina se define como 1 minuto de arco de meridiano de longitud, lo cual equivale a algo más de una milla terrestre. Resulta conveniente para los navegantes que sus millas se adecúen a la «medida circular» de grados, minutos y segundos empleados al viajar alrededor de una Tierra esférica, y les importa menos que se adecúen o no por completo a la milla utilizada por los marineros de agua dulce.

Luego tenemos la legua, unidad de medida que varía de longitud de un lugar a otro. Por lo general se acepta que equivale a 3 millas, lo que la haría igual a 4,81 kilómetros.

Hay muchas montañas de alturas comprendidas en el Escalón 8. La montaña más alta de Australia (el menos montañoso de los continentes) es el monte Kosciusko, en el sudeste de Nueva Gales del Sur. Tiene sólo 2,23 kilómetros de altura. El monte Cook, en la ribera centrooccidental de la Isla del Sur, es la cumbre más elevada de Nueva Zelanda, con una altura de 3,76 kilómetros.

Otro de los asteroides que rozan la Tierra es Geógrafos, que tiene un diámetro de unos 3 kilómetros y que se parecería al monte Cook si éste pudiera volar a través del espacio.

ESCALÓN 9
10 000 metros (10^4m)
10 kilómetros (10^1 km)

Cuando se ideó el sistema métrico, no se llevó a cabo ningún intento por establecer prefijos para algo que fuese mayor a 1 000 veces la unidad básica. Tal vez sus inventores creyeron que no se necesitaría nada más alto. De ser así, ello sería una actitud por completo corta de miras. Los científicos modernos han considerado necesario crear unos prefijos para múltiplos adicionales más allá del «kilo-».

Tales nuevos prefijos se presentan cada tres órdenes de magnitud. Entre medio no tenemos nada.

Existe una ligera excepción. La voz griega «myrioi», que significa «diez mil», aunque a menudo se empleó más vagamente para representar una cantidad indeterminada. En nuestro idioma tenemos «miríada», que, por lo general, se aplica a una cantidad muy grande, aunque también se usa a veces para representar diez mil.

Por tanto, el prefijo «myria-» se utiliza en ocasiones para representar diez mil veces la unidad básica. Así, un «miriámetro» sería 10 000 metros ó 10 kilómetros. No obstante, el miriámetro ha sido empleado raramente en este sentido, y el prefijo *no* forma parte oficial de la versión SI. Por esta razón no lo emplearé a partir de ahora.

En el Escalón 9 rebasamos ya la altura de las montañas.

La cumbre más elevada de Europa es el monte Elbruz, en la cordillera del Cáucaso, entre los mares Negro y Caspio. Tiene sólo 5,64 kilómetros de altura.

El Kilimanjaro, en Tanzania, es el monte más alto de África, con 5,89 kilómetros de altura. El monte McKinley, en la Alaska sudcentral, es la cumbre más alta de

Norteamérica; tiene 6,19 kilómetros de altura. El Aconcagua, la montaña más elevada de Sudamérica, en la frontera centrooriental de Chile, alcanza una elevación de 6,96 kilómetros.

El Aconcagua es la cumbre más alta del mundo fuera de Asia, pues aquí existen por lo menos 66 picos más elevados que el Aconcagua. El más alto de todos y, a su vez, el más elevado del mundo, es el Everest, en la frontera entre Nepal y Tibet. Se alza a 8,848 kilómetros por encima del nivel del mar, por lo cual, queda por debajo del nivel del Escalón 9.

Sin embargo, tal vez no sea correcto medir la altura de una montaña como la distancia a la que llega por encima del nivel del mar. Algunas montañas se elevan a partir del fondo, y sería razonable medir sus picos superiores por encima de la superficie sólida submarina sobre la que se elevan. La montaña volcánica Mauna Loa, que constituye una parte importante de la isla de Hawai, tiene su cumbre a sólo 4,169 kilómetros por encima del nivel del mar, pero si se incluyen sus estribaciones debajo de las aguas, su altura total, desde la base a la cima, sería, más o menos, 10 kilómetros.

Supongamos ahora que investigamos no las alturas, sino las profundidades. ¿Qué profundidad tiene la superficie sólida sobre la que yace el mar?

La parte más profunda del océano es la fosa de las Marianas, al sudeste de Guam, en el Pacífico. Aquí se ha medido una profundidad de 11,033 kilómetros, la cual rebasa el nivel del Escalón 9.

En realidad, si consideramos la distancia desde la parte más profunda del océano hasta el pico de la montaña más elevada, vemos que la diferencia en nivel de la superficie sólida de la Tierra alcanza un máximo de 19,88 kilómetros.

Las variaciones de la superficie terrestre en sentido vertical han agotado este escalón, pero no podemos decir lo mismo de las distancias horizontales a lo largo de la superficie de la Tierra.

Así, 10 kilómetros es sólo la mitad de la longitud de la isla de Manhattan; una distancia desde el extremo de Battery, al Sur, hasta la Calle 95, aproximadamente, cerca de la punta norte de Central Park.

Si nos movemos hacia los cuerpos astronómicos, en el Escalón 9 encontramos los diámetros no sólo de pequeños asteroides, sino también de pequeños satélites (cuerpos que parecen asteroides, pero que giran en torno a algunos planetas, en vez de seguir una órbita independiente alrededor del Sol). Es posible que originariamente fuesen asteroides que, en algún momento, serían capturados por la atracción gravitacional de los planetas.

Por ejemplo, tenemos a Deimos, el más pequeño de los dos satélites de Marte, No es un cuerpo esférico (los objetos de este tamaño no tienen el suficiente campo gravitacional para forzar a sus propios materiales a adoptar la forma compacta de una esfera). Esto significa que la longitud del diámetro de Deimos no es la misma en todas direcciones, como ocurriría en una esfera. El diámetro más corto de Deimos es de 10 kilómetros de longitud, mientras que el más largo llega a los 16 kilómetros.

ESCALÓN 10
31 600 metros ($10^{4,5}$ m)
31,6 kilómetros ($10^{1,5}$ km)

En este Escalón decimos adiós a Manhattan, puesto que su máxima longitud, Norte y Sur, no llega a los 22 kilómetros. Los distritos exteriores de Brooklyn y Queens (cada

uno de ellos más grande que Manhattan), unidos, tienen una anchura máxima de unos 30 kilómetros.

Si imaginamos que avanzamos en línea recta hacia arriba a través de la atmósfera, una distancia de 31,6 kilómetros nos llevaría fuera de la «troposfera», a la tranquila estratosfera, con más del 90 % del aire de la Tierra debajo de nosotros.

Fobos, el satélite mayor de Marte, tiene, en su diámetro más largo, una equivalencia de 28 kilómetros, mientras que su diámetro más corto no rebasa los 20 kilómetros. Si lo pudiéramos colocar sobre Nueva York, cubriría a la perfección Brooklyn y Queens. (Deimos, el satélite menor, sólo taparía Queens.)

Un rozador de la Tierra, Eros, fue el primero de su clase en ser descubierto, allá por 1898. Se trata de un objeto en forma de ladrillo, con un diámetro máximo de unos 36 kilómetros y mínimo de 16 kilómetros. De tamaño aproximado al de Fobos, es algo más alargado y estrecho.

ESCALÓN 11
100 000 metros (10^5 m)
100 kilómetros (10^2 km)

En el nivel del Escalón 11 hemos de abandonar definitivamente la ciudad de Nueva York, puesto que su anchura máxima, desde el extremo sudoeste de Staten Island hasta el límite norte del Bronx, es sólo de 47 kilómetros, y pasar a Los Angeles, cuya longitud máxima Norte-Sur es de 77 kilómetros, pero queda claro que nos encontramos más allá de las ciudades en general.

Incluso hemos prescindido de alguno de los pequeños Estados y naciones. La longitud máxima del Estado de Rhode Island es de unos 76 kilómetros, y Luxemburgo, en Europa, no es mucho mayor. Sin embargo, cada uno de los Estados norteamericanos de Delaware y Connecticut tienen una longitud máxima de 170 kilómetros.

El planeta Júpiter tiene cuatro grandes satélites, y más allá de los mismos hay, por lo menos, ocho o nueve cuerpos más pequeños, probablemente asteroides capturados. El mayor de esos «satélites exteriores», y el primero en ser descubierto, se llama «Himalia». Tiene unos 100 kilómetros de diámetro, o sea, exactamente en el nivel del Escalón 11, y si se colocase sobre la superficie de la Tierra, cubriría dos terceras partes de Connecticut.

ESCALÓN 12
316 000 metros ($10^{5,5}$ m)
316 kilómetros ($10^{2,5}$ km)

El límite norte de Maryland, en la frontera de Pensilvania, se llama Línea Mason-Dixon, en atención a que fue medida por Charles Mason y Jeremiah Dixon, entre 1763 y 1767. Más tarde adquirió una triste fama en la historia norteamericana, al simbolizar la frontera entre los Estados libres y los esclavistas, cuya eliminación costó una sangrienta guerra civil. La actual Línea Mason-Dixon tiene 312 kilómetros de longitud, y se encuentra casi exactamente en la longitud del Escalón 12.

Algo más larga es la frontera norte de California, que bordea Oregón. Esta línea Este-Oeste tiene 355 kilómetros de longitud.

Tenemos otras longitudes en el ámbito del Escalón 12. Desde Nueva Orleáns hasta la frontera norte de Luisiana hay 360 kilómetros en línea recta, y desde Little Rock (Arkansas) hasta Jackson (Mississippi), 336 kilómetros.

En Inglaterra, la distancia entre Plymouth, hacia el Norte, y York, es, en línea recta, de 360 kilómetros. En Francia, la separación entre París y Estrasburgo, al Este, es de 400 kilómetros. En la Unión Soviética, el trayecto entre Moscú y Smolensko, al Oeste (cerca de donde yo nací), es de 400 kilómetros. De Tokio a Osaka hay también 400 kilómetros.

El alcance del Escalón 12 nos lleva a los asteroides más grandes. Higeia, el décimo asteroide en ser descubierto, tiene unos 450 kilómetros de diámetro. Sólo tres asteroides son mayores que éste.

ESCALÓN 13
1 000 000 de metros (10^6 m)
1 megámetro (10^0 Mm)

Cuando se ideó el sistema métrico, hace dos siglos, no se previo (como ya he dicho) un prefijo superior al de «kilo-». Hoy contamos ya con cierto número de prefijos, que se han hecho oficiales y aceptados, a intervalos de tres órdenes de magnitud. Así, pues, si consideramos 1 000 000 de metros (1 000 kilómetros), está claro que necesitamos un nuevo prefijo.

El prefijo usado es «mega-», simbolizado por «M». Se emplea la letra mayúscula porque la minúscula «m», como veremos más adelante, se ha dedicado a otro prefijo, que se usa hace mucho más tiempo. El prefijo «mega-» procede de la voz griega «megas», que quiere decir «grande». Significa siempre 1 000 000 (un millón) de veces la unidad básica, por lo cual 1 megámetro = 1 000 000 de metros = 1 000 kilómetros.

La distancia entre Chicago y Washington, D. C., en línea recta (siguiendo la curvatura de la superficie terrestre, como es natural) es de 960 kilómetros, ó 0,96 megámetros. La distancia entre París y Viena es de 1,04 megámetros, y desde Moscú a Estocolmo, de 1,15 megámetros.

La distancia del Escalón 13 nos lleva al límite de los asteroides. El mayor de esos cuerpos, y el primero que se descubrió, es Ceres. Su diámetro, en la mayor parte de los informes recientes, es de 1,003 megámetros.

También hemos alcanzado los diámetros de los satélites de mediano tamaño. Tetis es el quinto satélite en tamaño de Saturno; tiene un diámetro de 1,05 megámetros. El planeta de más allá de Saturno es Urano, que posee cinco satélites conocidos, el mayor de los cuales es Titania, cuyo diámetro es de 1,04 megámetros.

ESCALÓN 14
3 160 000 metros ($10^{6,5}$ m)
3,16 megámetros ($10^{0,5}$ Mm)

En el mapa político existen muy pocas fronteras en línea recta. La mayor parte de las fronteras han sido establecidas por barreras naturales, combinadas con las complejidades de miles de años de guerra y de diplomacia, por lo que una línea recta sería algo demasiado sencillo. Las recientes naciones de los Estados Unidos y Canadá,

que ocuparon unas tierras relativamente vacías, se formaron de una manera así de simple.

La línea recta internacional más larga en el mundo forma parte de la frontera entre Estados Unidos y Canadá. (No existe actualmente una línea recta en el Globo, puesto que no sigue la curva de un «gran círculo», pero se trata de una línea recta, de Este a Oeste, en la proyección de Mercator, que es la forma usual en que vemos un mapamundi.) Esta frontera, que va desde Puget Sound, en el Estado de Washington, hasta el lago de los Woods, en Minnesota, tiene una longitud aproximada de 3,2 megámetros.

Sólo existe una línea recta en el mapa que la supere. Se trata de una frontera provincial en el Canadá. Desde el entrante de Alaska a la bahía de Hudson, la frontera Norte de la Columbia británica, Alberta, Saskatchewan y Manitoba se prolonga en línea recta (por lo menos en la proyección Mercator), de Este a Oeste, durante unos 4,0 megámetros.

He aquí algunas distancias a lo largo de la superficie de la Tierra que se encuentran en el Escalón 14. Estas distancias están tomadas a lo largo de rutas de un gran círculo [1].

Nueva Delhi a Bangkok	2,92 megámetros
Berlín a El Cairo	2,89 megámetros
Washington, D. C. a Caracas	3,29 megámetros
Tokio a Hong Kong	2,88 megámetros
San Francisco a Honolulú	3,86 megámetros
Madrid a Moscú	3,45 megámetros
Ciudad de México a Montreal	3,73 megámetros
Roma a Teherán	3,41 megámetros

En este Escalón 14 se encuentra el reino de los satélites más grandes. De los cuatro satélites mayores de Júpiter, el menor es Calisto, con un diámetro de 3,13 megámetros.

Nuestra propia Luna es algo mayor, con un diámetro de 3,48 megámetros (más o menos, la distancia de Madrid a Moscú).

El satélite de Júpiter, Ío, el más cercano a Júpiter de los grandes satélites, ha saltado recientemente a los grandes titulares a causa de que nuestros cohetes sonda han descubierto en él volcanes en actividad. (Es el único mundo, además de la misma Tierra, en el que se conoce su existencia.) Su diámetro es de 3,63 megámetros.

El satélite de Neptuno, Tritón, posee un diámetro que se calcula en 3,8 megámetros.

ESCALÓN 15
10 000 000 de metros (10^7 m)
10 megámetros (10^1 Mm)

La distancia a lo largo de un meridiano de longitud desde el Polo Norte al Ecuador es de casi 10 megámetros.

[1] Un gran círculo es cualquier círculo trazado en la Tierra que divide la superficie del Planeta en dos mitades iguales. Existe un número infinito de tales grandes círculos, pero los más familiares son el ecuador y los meridianos de longitud.

Realmente no se trata en absoluto de una coincidencia. Cuando se estableció el sistema métrico, la idea fue enlazar la unidad básica de longitud con alguna medida física que careciese en sí misma de una desviación de tipo cultural. Se suponía que debía resultar algo significativo para todas las naciones y culturas.

Algo que toda la Humanidad tiene en común es la misma Tierra, y el tamaño de la Tierra era conocido. Así, pues, lo que se deseaba era una unidad básica de longitud que fuese de un tamaño conveniente, y que constituyese un submúltiplo fijo de la circunferencia de la Tierra. Si tomamos una diezmillonésima de la distancia desde el Polo hasta el Ecuador (y, por tanto, una cuarentamillonésima de la circunferencia de la Tierra), tendremos la clave. El metro fue establecido como tal distancia después de consumir un tiempo y un esfuerzo considerables realizando la topografía de Francia y de España a fin de deducir la distancia *exacta,* para que dicha medida constituyese una fracción *exacta.*

A pesar de todas las buenas intenciones, resultó una mala idea. El medir la distancia exacta a lo largo de la curvatura de la Tierra, considerando los obstáculos que existen en el camino, tanto físicos —cual montañas—, como humanos —cual guerras—, constituyó una tarea en extremo dificultosa. Una vez calculada la cifra y establecido el metro, resultó inevitable que las mediciones posteriores revelasen que en las primeras se había cometido un ligero error. El metro oficialmente establecido resultó ser, después de que el sistema métrico hubiese sido aceptado y fijado en detalle, levemente inferior a una diezmillonésima de la verdadera distancia desde el Polo al ecuador.

Si la medición se hubiese hecho con precisión, la distancia desde el Polo al ecuador habría sido, exactamente, de 10 megámetros, ó 10 000 000 de metros. En realidad, la distancia es más bien de 10,0185 megámetros, ó 10 018 500 metros. Se trata de un error de menos de 1/5 del 1 por 100, lo cual no es demasiado pero no es *exacto.*

Por esta razón, se ha abandonado el intento de definir el metro en términos del tamaño de la Tierra. En vez de ello, se puso una barra de platino-iridio en una bóveda con aire acondicionado en un suburbio de París, y la distancia entre dos finas ranuras de su superficie se definió como el metro. Ésta fue la distancia a la que debían conformarse otros «estándares secundarios».

En la actualidad, los científicos han encontrado una forma aún mejor de definir el metro, haciendo uso, después de todo, de algo físico. Ya trataremos luego de ello.

En el nivel del Escalón 15, ya hemos dejado atrás a los satélites. El mayor es Ganimedes, que gira alrededor de Júpiter, y que tiene un diámetro de sólo 5,276 megámetros. En realidad, incluso los planetas más pequeños han quedado ahora detrás de nosotros. Mercurio tiene un diámetro de 4,878 megámetros. El mismo Marte posee un diámetro de tan sólo 6,796 megámetros.

No obstante, aunque en esta sección del libro estamos tratando, primariamente, con distancias en línea recta, incluimos en «línea recta» las líneas curvadas que siguen un gran círculo sobre una superficie esférica; de otro modo, no podríamos hablar de distancias a vuelo de pájaro entre ciudades sobre la superficie de la Tierra. Por consiguiente, es justo incluir tanto circunferencias de mundos, como diámetros.

La circunferencia de Mercurio, por ejemplo, es de 15,32 megámetros, longitud que supera ampliamente el nivel del Escalón 15. La circunferencia de Ganimedes es de 16,58 megámetros, y la de Marte, de 21,35 megámetros.

Si continuamos con los diámetros, el planeta más pequeño que rebasa el nivel del Escalón 15 es Venus, con un diámetro de 12,1 megámetros. El diámetro de la Tierra es de 12,756 megámetros.

Siguiendo la curva de la superficie terrestre a lo largo de grandes círculos, he aquí algunas distancias dentro de los límites del Escalón 15:

Nueva York a Teherán	9,88 megámetros
Río de Janeiro a Berlín	9,99 megámetros
Moscú a Ciudad de El Cabo	10,10 megámetros
Chicago a Tokio	10,16 megámetros
Londres a Lima	10,16 megámetros
Melbourne a Nueva Delhi	10,18 megámetros
Caracas a El Cairo	10,20 megámetros
Ciudad de México a Roma	10,26 megámetros
Montreal a Pekín	10,49 megámetros
Madrid a Hong Kong	10,55 megámetros
Honolulú a Bangkok	10,63 megámetros
París a Singapur	10,74 megámetros

En cada uno de esos casos, la distancia es igual a la que existe entre el Polo y el ecuador y, por tanto, equivale a una cuarta parte del viaje alrededor del mundo.

En el ámbito del Escalón 15 podemos considerar distancias entre planetas y sus satélites.

Fobos, el satélite interior de Marte, se encuentra a 9,38 megámetros del planeta. Esto no significa mucho en el contexto de las distancias planeta/satélite (a decir verdad, ningún otro satélite conocido se encuentra tan cerca del planeta alrededor del que gira). No llega a la distancia entre Nueva York y Teherán a lo largo de una ruta de gran círculo.

Y lo que es más, esta separación se mide desde el centro de Marte hasta el de Fobos. Desde el centro de Marte a la superficie del planeta hay 3,398 megámetros, por lo cual, teniendo en cuenta además el insignificante tamaño de Fobos, la distancia entre Marte y Fobos, *superficie a superficie*, queda por debajo de los 6,00 megámetros, bastante inferior al nivel de longitud del Escalón 15, y equivalente a la distancia por aire entre Montreal y Berlín.

ESCALÓN 16
31 600 000 metros ($10^{7,5}$ m)
31,6 megámetros ($10^{1,5}$ Mm)

En el nivel del Escalón 16, al que hemos llegado ahora, nos encontramos más allá de las distancias de una ciudad a otra en la superficie de la Tierra. La distancia entre Inglaterra y Nueva Zelanda es, en números redondos, de 20 megámetros, lo cual equivale a la mitad de la vuelta al mundo en un recorrido de gran círculo. Si intentamos seguir avanzando, la curva de la Tierra empieza a hacernos retroceder al lugar de partida. (La distancia desde el centro de Marte a Deimos, el más alejado de sus dos satélites, es de 20,1 megámetros, es decir, casi la mitad de la longitud de circunvalación de la Tierra.)

Después de todo esto, ya sólo nos queda hablar de la circunferencia de la Tierra. Se trata de la longitud de cualquier gran círculo sobre la superficie de una esfera. Si la Tierra fuese una esfera perfecta, todos sus infinitos grandes círculos serían de la misma longitud. Dado que, gracias a la revolución de la Tierra sobre su propio eje, se trata de

un esferoide aplastado, el ecuador es ligeramente el más largo de los grandes círculos. Mide 40,074 megámetros, y con ello debemos abandonar ya la Tierra.

Naturalmente, hay planetas que son aún más grandes que la Tierra: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Los cuatro presentan unas superficies visibles que no son la clase de superficies sólidas a las que estamos acostumbrados en relación con los planetas pequeños, satélites y asteroides.

Lo que vemos, en el caso de los cuatro grandes planetas, es la parte superior de unas capas de nubes. Lo que se halla debajo sigue siendo objeto de especulación y, aunque podamos hacer suposiciones altamente razonables, no disponemos aún de una información observada directamente. De todos modos, podemos imaginar que la superficie visible tras las capas de nubes de esos «gigantes gaseosos» es una superficie equivalente a la de la Tierra, por lo menos a efectos de calcular las distancias.

El diámetro de Neptuno, el más pequeño de los gigantes gaseosos, es de 49,5 megámetros, y el de Urano, de 52,3 megámetros. Cada una de esas cifras es más bien superior a la de la circunferencia de la Tierra.

ESCALÓN 17
100 000 000 de metros (10^8 m)
100 megámetros (10^2 Mm)

El nivel de longitud del Escalón 17 nos lleva, al fin, al reino de los gigantes gaseosos. El diámetro de Saturno es de 120 megámetros, y el de Júpiter, el mayor de los planetas, de 143,8 megámetros (11 1/4 veces el diámetro de la Tierra). En cuanto a los dos gigantes gaseosos menores, la circunferencia de Neptuno es de 155,5 megámetros, y la de Urano, de 164,3 megámetros.

Urano posee una serie de anillos que lo circundan de manera tan tenue y esparcida que no resulta visible con la observación ordinaria por telescopio. Los anillos fueron descubiertos accidentalmente en 1977, dado que escondían, u «ocultaban» una estrella delante de la cual pasaba en aquel momento Urano. El diámetro de este sistema de anillos, de un lado de Urano al otro, es de casi 102,4 megámetros, aproximadamente la longitud del Escalón 17.

De los satélites de Urano, el más cercano es Miranda. La distancia desde el centro de Urano a Miranda es, aproximadamente de 130 megámetros.

ESCALÓN 18
316 000 000 de metros ($10^{8,5}$ m)
316 megámetros ($10^{2,5}$ Mm)

Estamos estirando al máximo los planetas gigantes, puesto que la circunferencia ecuatorial de Saturno es de 377 megámetros, y la de Júpiter, de 451,8 megámetros. Ahora debemos trasladar nuestra atención desde los planetas hasta las cercanías de los mismos.

Júpiter, al igual que Urano, tiene anillos esparcidos, no visibles desde la Tierra con un examen telescópico ordinario. Sin embargo, las sondas «Júpiter» los han detectado. Si los anillos de Júpiter se ven como objetos continuos, el diámetro del borde más exterior de los anillos es de casi 260 megámetros, poco más de la mitad de la inmensa circunferencia del planeta.

Saturno, aunque más pequeño que Júpiter, posee la más espléndida serie de anillos del Sistema Solar; son los únicos visibles (además de una forma espectacular) desde la Tierra. El diámetro máximo del sistema de anillos de Saturno, tan visible desde la Tierra, tiene 274 megámetros, o tres cuartas partes de la circunferencia de Saturno.

En el nivel de longitud del Escalón 18 nos encontramos en el típico ámbito de las distancias planeta/satélite. Por ejemplo, la distancia desde Neptuno hasta Tritón, su mayor satélite, de superficie a superficie, es de unos 330 megámetros, lo cual está muy cerca del nivel del Escalón 18.

La misma distancia incluye tres de los cinco satélites de Urano y está bastante cerca del cuarto, Titania, el cual, de superficie a superficie, se halla a 412 megámetros del planeta. Dione, el cuarto satélite en tamaño, está separado 317 megámetros de Saturno, de superficie a superficie, e Ío, el gigante de los satélites interiores de Júpiter, se encuentra a 340,7 megámetros de su planeta, de superficie a superficie.

Y, lo que es más, la Luna dista 378 megámetros de la Tierra, de superficie a superficie.

Pero la Luna no es sólo el único objeto astronómico que puede aproximarse a la Tierra a la distancia de un Escalón 18. En 1937, un asteroide, tal vez de sólo medio kilómetro de diámetro, fue visto pasar velozmente cerca de la Tierra, a una distancia de 780 megámetros, dos veces la distancia a la Luna. Este «rozador» de la Tierra, que se aproximó mucho más que cualquier otro, fue llamado Hermes.

Según su posición y movimiento se calculó la órbita de Hermes y, una vez medida, se evidenció que, si la Tierra y Hermes estuviesen en los puntos de más cercana aproximación, Hermes se encontraría a 315 megámetros de distancia, a tan sólo cinco sextas partes de la distancia de la Luna.

No haría falta demasiado ajuste de la órbita, a causa de las fuerzas gravitacionales de la Tierra y de otros planetas, para situar a Hermes en un curso de colisión, y un proyectil, aun de sólo medio kilómetro, que se moviera a velocidades asteroidales, podría causar terribles daños. Sin embargo, tal vez sea inexacto el cálculo orbital, basado en un solo acercamiento. Aunque tampoco hemos tenido la oportunidad de corregirlo, puesto que Hermes no ha vuelto a presentarse.

Naturalmente, innumerables objetos chocan todos los años contra la Tierra, incluso cada segundo que pasa. La inmensa mayor parte no son más que partículas que no sobrepasan el tamaño de motas de polvo, e incluso las espectaculares «estrellas fugaces» son causadas por trozos de materia no mayores que cabezas de alfiler. Sólo unas cuantas colisiones se producen con objetos lo suficientemente grandes como para sobrevivir después de atravesar la atmósfera y aterrizar como «meteoritos». El último impacto potencialmente dañoso tuvo lugar en 1908. Se produjo en Siberia central y, por suerte, no mató a nadie.

Nada tan grande como Hermes ha chocado con la Tierra durante la Historia de la civilización.

ESCALÓN 19
1 000 000 000 de metros (10^9 m)
1 gigámetro (10^0 Gm)

En el nivel del Escalón 19 nos encontramos con una longitud de 1 000 000 000 (mil millones; un billón según el sistema norteamericano) de metros, ó 1 000 megámetros. En este estadio necesitábamos un nuevo prefijo, y el adoptado en la versión SI fue el

«giga-». Se simboliza con «G». Procede de la voz latina «gigas», que significa «gigante».

El mayor satélite de Júpiter, Ganimedes, está a 1,07 gigámetros del centro planetario. (A esa distancia ya no tiene mucha importancia que hagamos los cálculos desde el centro del planeta o desde su superficie.) Más allá de Ganimedes se encuentra Calisto, el satélite más exterior de entre los galileanos; se halla a 1,88 gigámetros de Júpiter.

El mayor satélite de Saturno, Titán, se encuentra a 1,22 gigámetros de su planeta. El satélite de más allá, Hiperión, dista 1,48 gigámetros del planeta.

Neptuno tiene un pequeño satélite con una órbita que se encuentra más allá del enorme Tritón. Aunque la mayor parte de los satélites describen órbitas casi circulares, el satélite exterior de Neptuno, Nereida, efectúa una órbita completamente elíptica. Esto significa que Nereida se acerca, comparativamente, más a Neptuno en un extremo de su órbita y luego se aleja hasta una distancia considerablemente mayor en el otro extremo. La máxima aproximación de Nereida a Neptuno es de 1,39 gigámetros.

Sin embargo, supongamos que no tenemos en cuenta la distancia de un satélite desde un planeta, sino la longitud de su órbita en torno a ese planeta. Por ejemplo, Amaltea, el satélite más cercano a Júpiter de todos los visibles desde la Tierra, viaja 1,14 gigámetros al girar alrededor de Júpiter; ésa es su longitud orbital. La longitud orbital de Mimas, el satélite interior de Saturno visible desde la Tierra, es de 1,16 gigámetros.

Al llegar a este punto conviene introducir al Sol, que es muchísimo mayor que cualquiera de sus planetas. Su diámetro es de 1,39 gigámetros, 9 2/3 veces mayor que el de Júpiter. (Si nos imaginamos que la Tierra se encuentra en el centro del Sol, la órbita de la Luna sería poco más de la mitad de la superficie solar. Si Júpiter se colocara en el centro, la órbita de Europa se hallaría justamente por debajo de la superficie solar.)

ESCALÓN 20
3 160 000 000 de metros ($10^{9,5}$ m)
3,16 gigámetros ($10^{0,5}$ Gm)

Saturno posee un satélite llamado Japeto, que es el más próximo al exterior. Su distancia a Saturno es de 3,56 gigámetros.

En lo que se refiere a las longitudes orbitales de los satélites, nuestra Luna queda aún lejos del nivel del Escalón 20. La longitud orbital de la Luna es de sólo 2,41 gigámetros.

En comparación, la longitud orbital de Rea, el quinto satélite de Saturno (también visible desde la Tierra), es de 3,31 gigámetros, mientras que la de Oberón, el satélite más exterior de Urano, es de 3,68 gigámetros. La longitud orbital de Europa, el menor de los satélites gigantes de Júpiter, es de 4,21 gigámetros.

La circunferencia del Sol es aún mayor, puesto que tiene 4,37 gigámetros de longitud.

ESCALÓN 21
10 000 000 000 de metros (10^{10} m)
10 gigámetros (10^{1} Gm)

El satélite exterior de Neptuno, Nereida, gracias a su importante órbita elíptica, se dispara a una distancia de 9,73 gigámetros en su máximo alejamiento de Neptuno.

El satélite más exterior de Saturno, Febe, tiene una órbita de tipo elíptico. En su máxima aproximación a Saturno, se encuentra a 10,83 gigámetros del planeta; en su mayor alejamiento, a 15,06 gigámetros.

Júpiter posee cuatro pequeños satélites más allá de Calisto, todos los cuales se encuentran a una distancia entre 11,11 y 11,74 gigámetros de Júpiter. La longitud orbital de su satélite gigante más exterior, Calisto, es de 11,8 gigámetros.

ESCALÓN 22
31 600 000 000 de metros ($10^{10,5}$ m)
31,6 gigámetros ($10^{1,5}$ Gm)

Los cuatro satélites más exteriores de Júpiter se encuentran a unas distancias promedio de 20,7 a 23,7 gigámetros de su planeta. De éstos, el que tiene una órbita más excéntrica es Pasifae. En el extremo más distanciado de su órbita, se aleja hasta una distancia de 33,2 gigámetros de Júpiter. De todos los satélites conocidos del Sistema Solar, Pasifae es el que más se aleja del planeta sobre el que gira.

La longitud orbital de Nereida es de unos 34 gigámetros.

En el nivel del Escalón 22, pasamos más allá de los rozadores de la Tierra. El mayor y más conocido desde hace más tiempo es Eros, y su máxima aproximación a la Tierra es de 22,5 gigámetros, mientras que el mucho más pequeño Alberto, localizado a la distancia máxima en que un objeto cabe calificarse como rozador de la Tierra, no se aproxima a más de 32,2 gigámetros.

Podemos también hablar de los «rozadores del Sol». Se trata de cometas ocasionales, conocidos por este nombre, que se acercan al Sol en un extremo de sus extraordinariamente alargadas órbitas, hasta distancias de diez megámetros o menos. Sin embargo, los cometas individuales de este tipo probablemente no aparecen por nuestra parte del Sistema Solar en más de una ocasión en muchos millones de años y, por tanto, resulta difícil hablar de ellos con cierta clase de familiaridad. Por dicha razón, podemos ignorarlos.

De los objetos que circundan el Sol, que describen órbitas bien definidas y que se acercan al Sol a unos intervalos razonablemente breves y predecibles, el que más se acerca es el pequeño asteroide Ícaro. En cada giro de su órbita (sólo ligeramente más larga que la de la Tierra) se aproxima a 28,5 gigámetros del Sol.

Mercurio, el planeta importante más cercano al Sol, se encontrará en su más próximo acercamiento a 45,9 gigámetros de distancia.

Y, hablando de los planetas más importantes, dos de ellos se encuentran ocasionalmente a distancias de la Tierra no muy alejadas del nivel del Escalón 22. Mientras la Tierra es el tercer planeta desde el Sol, Venus es el segundo, y Marte, el cuarto. Cuando Venus y la Tierra se encuentran en el mismo lado del Sol, la aproximación más cercana posible es de 39,3 gigámetros. En el caso de Marte, la aproximación máxima es de 48,7 gigámetros.

ESCALÓN 23
100 000 000 000 de metros (10^{11} m)
100 gigámetros (10^{2} Gm)

Este escalón nos lleva a los límites extremos del sistema de satélites. Los cuatro satélites más exteriores de Júpiter circundan el planeta en órbitas que tienen entre 130 y 150 gigámetros de longitud, y con esto ponemos fin a los satélites.

Sin embargo, podemos seguir tratando de las distancias desde el Sol. La distancia de Venus al Sol es de 108,2 gigámetros, mientras que nuestra Tierra se halla a 149,6 gigámetros.

Por lo general, los astrónomos emplean la distancia desde la Tierra al Sol como una unidad convencional de medición para las distancias planetarias en general. A esta distancia la denominan «unidad astronómica», que se simboliza por AU. Así pues, 1 AU = 149,6 Gm.

En la versión SI no se emplea la unidad astronómica pero, de todos modos, es difícil ignorarla puesto que resulta muy útil para hacer comparaciones. De este modo, la principal (o promedia) distancia de Mercurio al Sol es de 0,387 AU, mientras que la de Venus es 0,723 AU. Podemos ver con cuánta facilidad se relacionan así sus distancias respecto a las de la Tierra, de un modo que no conseguirían estas tres distancias dadas en gigámetros.

ESCALÓN 24
316 000 000 000 de metros ($10^{11,5}$ m)
316 gigámetros ($10^{2,5}$ Gm)

Ahora nos movemos más allá de la Tierra. Marte, el cuarto planeta, está a 227,9 gigámetros del Sol, mientras que Ceres, el mayor de los asteroides, se halla a 414,4 gigámetros del Sol.

Así, el nivel de longitud del Escalón 24 nos lleva desde el Sol hasta el cinturón de asteroides, e incluye el llamado «Sistema Solar interior».

Hemos penetrado también en la región de las longitudes planetarias orbitales. La órbita de Mercurio, el planeta más interior, tiene una longitud de 360 gigámetros.

ESCALÓN 25
1 000 000 000 000 de metros (10^{12} m)
1 terámetro (10^{0} Tm)

En el nivel de longitud del Escalón 25 hemos llegado a la cifra de un billón (un trillón, según los usos norteamericanos), y se hace necesario utilizar un nuevo prefijo. En este caso es «tera-», y se simboliza por «T». Procede del vocablo griego «teras», que significa «monstruo».

El terámetro tiene un alcance que nos lleva al «Sistema Solar exterior», en lo que se refiere a las distancias planetarias. La distancia de Júpiter al Sol queda algo corta, puesto que es sólo de 0,778 terámetros, pero Saturno se halla ya a 1,427 terámetros de distancia.

La longitud de la órbita de la Tierra alrededor del Sol es de 0,94 terámetros. Éste será nuestro adiós definitivo a la Tierra. Nada que esté directamente relacionado con nuestro

planeta nos dará ya un ejemplo de una distancia superior a la longitud de su órbita en torno al Sol.

ESCALÓN 26

3 160 000 000 000 de metros ($10^{12,5}$ m)
3,16 terámetros ($10^{0,5}$ Tm)

Nos encaminamos hacia los límites exteriores del sistema planetario. Urano, el séptimo planeta, está a 2,870 terámetros del Sol; Neptuno, el octavo planeta, a 4,497 terámetros del Sol.

La longitud de la órbita de Júpiter es de 4,89 terámetros.

ESCALÓN 27

10 000 000 000 000 de metros (10^{13} m)
10 terámetros (10^{1} Tm)

En el nivel de longitud del Escalón 27 nos encontramos más allá del más distante planeta conocido, Plutón. Éste se halla a una distancia media del Sol de sólo 5,9 terámetros. Asimismo, su órbita es completamente elíptica (más que la de cualquier otro planeta). En un extremo de su órbita, se acerca al Sol un poco más que Neptuno. Y en el momento actual y durante los próximos veinte años, se hallará en esta parte de su órbita. No obstante, en el extremo opuesto de su órbita, está a 7,4 terámetros del Sol, siendo esta distancia todavía corta respecto a la longitud del Escalón 27.

Naturalmente, los planetas no son los únicos cuerpos del Sistema Solar. Existen objetos que retroceden más allá de Plutón. Algunos cometas describen largas órbitas en forma de cigarro. Así, se cree que el cometa Rigollet retrocede hasta una distancia de 8,15 terámetros desde el Sol, mucho más allá del punto más alejado de la órbita de Plutón.

Esto agota las longitudes de las órbitas planetarias. Así, Saturno, al efectuar su enorme órbita en torno al Sol, recorre una distancia de 8,97 terámetros en una revolución.

ESCALÓN 28

31 600 000 000 000 de metros ($10^{13,5}$ m)
31,6 terámetros ($10^{1,5}$ Tm)

La longitud de la órbita de Plutón en torno del Sol es de unos 37 terámetros. Con ello dejamos atrás las simples longitudes del sistema planetario.

ESCALÓN 29

100 000 000 000 000 metros (10^{14} m)
100 terámetros (10^{2} Tm)

Si imaginamos una distancia en línea recta desde el Sol hasta un punto a 100 terámetros de distancia, nos encontraremos más allá de Plutón, incluso en su máximo alejamiento del Sol. No existe nada significativo a esa distancia, con excepción de los cometas, y apenas disponemos de estadísticas sobre los cometas que retroceden desde el

Sol hasta semejantes distancias. Podríamos emplear revoluciones múltiples y decir que Plutón, en tres vueltas alrededor del Sol (o la Tierra en 115 giros en torno del Sol), cubre una distancia de unos 100 terámetros. Sin embargo, nos perderíamos en el número de revoluciones y acabaríamos en algo no fácilmente visualizable. Así pues, volvámonos hacia otra parte.

La luz viaja a través del vacío a una velocidad de 299 792 500 metros por segundo. (A disgusto, estoy proporcionando una medición de tiempo que expondré con detenimiento más adelante. Sin embargo, y dado que tenemos una noción bastante buena de lo que es un segundo, no se ha perdido mucho, por lo que pasaré por alto la explicación formal de tan fundamental unidad de tiempo y la reservaré para el lugar apropiado.)

Con el sistema que estamos usando para medir distancias, podemos decir que la luz se desplaza a un promedio de unos 300 megámetros por segundo. Así, en un segundo, un rayo de luz que viaja por el vacío sin obstáculos nos da una medición en una distancia próxima a un Escalón 18. En otras palabras en un segundo, la luz viaja desde Saturno hasta cerca de su satélite Dione; o desde Neptuno hasta cerca de su satélite Tritón; o bien, en este aspecto, desde la Tierra hasta cerca de la Luna.

A una distancia de 300 megámetros, el recorrido que efectúa la luz en un segundo puede denominarse «segundo-luz». No es una unidad de distancia muy usada, ni está permitida en la versión SI del sistema métrico, pero, sin duda, constituye una unidad sugerente.

Esta forma de calcular la distancia puede ampliarse. Así, un «minuto-luz», la distancia que la luz recorrerá en un minuto, equivaldría a sesenta veces un segundo-luz. Un minuto-luz tendría, pues, 18 gigámetros de longitud y se encontraría poco más allá de la distancia del Escalón 21. En un minuto, la luz viajará desde Júpiter hasta cerca de su satélite más exterior conocido.

Si pasamos a la «hora-luz», tenemos una distancia que implica otra multiplicación por sesenta. En una hora, un rayo de luz recorrerá 1,08 terámetros, casi exactamente la distancia del Escalón 25. En una hora de un movimiento sin obstáculos a través del vacío, la luz que se origina en el Sol habrá viajado tres cuartas partes del camino hasta Saturno.

Un «día-luz» es igual a 24 horas-luz, ó 25,9 terámetros. Esto está muy cerca de la distancia del Escalón 28. Si fuese posible que la luz siguiera una órbita levemente curvada, podría, en un día, viajar casi por completo alrededor de la órbita de Neptuno.

Como vemos, para conseguir una noción de la distancia del Escalón 29, donde no tenemos nada convenientemente físico que señalar, podemos emplear este sistema y decir que es igual a 4 días-luz. La luz, partiendo del Sol en un momento determinado, habrá cubierto una distancia de 100 terámetros después de un viaje ininterrumpido de 4 días.

ESCALÓN 30
316 000 000 000 000 de metros ($10^{14,5}$ m)
316 terámetros ($10^{2,5}$ Tm)

En 1973, el astrónomo checo Lubos Kohoutek detectó un cometa que se acercaba al Sol, mientras se encontraba tan distante como la órbita de Júpiter. Para que un cometa sea visible a semejante distancia, parece correcto suponer que se trata de uno bastante grande y que efectuaría una exhibición espectacular cuando alcanzase las cercanías de la

Tierra y del Sol. Por desgracia, demostró ser más bien un cometa rocoso, del tipo que produce una relativamente pequeña nube de polvo y de gas en relación con lo que cabía esperar, por lo que, ante el desencanto general, quedó muy difuminado.

De todos modos, la larga observación del cometa permitió averiguar su órbita con una desacostumbrada precisión al tratarse de una órbita tan alargada. El punto de máximo alejamiento desde el Sol es de unas sesenta veces la del cometa Rigollet.

El cometa Kohoutek (tradicionalmente, se da a los cometas el nombre de sus descubridores) se aleja hasta una distancia de 538,2 terámetros. De forma sustancial, es superior a la distancia del Escalón 30, y es la mayor órbita que quepa calcular en lo referente a cualquier objeto específico del Sistema Solar.

ESCALÓN 31

1 000 000 000 000 000 metros (10^{15} m)
1 petámetro (10^{0} Pm)

En el sistema SI se ha establecido que 1 000 terámetros equivalgan a 1 petámetro. Su símbolo es «Pm». Un petámetro equivale a mil billones de metros (un cuatrillón, según el sistema norteamericano de clasificar a los números).

Aquí sería correcto hablar de un «mes-luz». El mes promedio es 30,437 veces más largo que un día, por lo cual un mes-luz equivaldría a ese número de veces un día-luz. Por tanto, un mes-luz representaría 0,79 petámetros de longitud, sin llegar a la distancia del Escalón 31.

ESCALÓN 32

3 160 000 000 000 000 de metros ($10^{15,5}$ m)
3,16 petámetros ($10^{0,5}$ Pm)

La órbita del cometa Kohoutek es, aproximadamente, de 2,38 petámetros de longitud, o casi 3 meses-luz de longitud. Un rayo de luz que corriese a lo largo de la órbita del cometa Kohoutek tardaría 3 meses en completar su viaje. Sin embargo, ésta no es en absoluto la distancia del Escalón 32, que equivale a la longitud de 4 meses-luz.

ESCALÓN 33

10 000 000 000 000 000 de metros (10^{16} m)
10 petámetros (10^{1} Pm)

Si continuamos abriéndonos paso por la escala de las unidades-luz, llegaremos al «año-luz», la distancia que la luz recorre a través de un vacío sin obstáculos en un año de 365,2422 días. Esta distancia será de 9,46 petámetros, lo cual está muy cerca de la distancia del Escalón 33.

En 1950, el astrónomo holandés Jan H. Oort sugirió que existía una capa de cometas que contendría tal vez hasta 100 000 000 000 de los mismos, girando lentamente en torno al Sol a una distancia de 1 a 2 años-luz. Ocasionalmente uno de ellos enlentecería su marcha a causa de colisiones o de la atracción gravitacional de las estrellas más cercanas, y caería hacia el Sistema Solar interior. Aquí, ante el desacostumbrado calor del Sol, su estructura de hielo (congelada y sin obstáculos a través de toda la historia

previa del Sistema Solar) se evaporaría y formaría una gran nube de polvo y de gas, que se haría visible ante los asombrados ojos de los observadores humanos.

A través de toda la larga historia del Sistema Solar, sólo una pequeña fracción de todos esos cometas habría caído en el Sistema Solar interior, donde, a través de numerosos regresos a las cercanías del Sol, el cometa llegaría a desintegrarse.

Así, a la distancia del Escalón 33 del Sol, dando por supuesto que fuese correcta la sugerencia de Oort, nos encontraríamos dentro de la capa de cometas, una capa que se halla dos mil veces más alejada del Sol que Plutón, y que se encuentra ochenta mil veces más distante del Sol que la Tierra.

ESCALÓN 34
31 600 000 000 000 000 de metros ($10^{16,5}$)
31,6 petámetros ($10^{1,5}$ Pm)

Si imaginamos que nos hemos alejado del Sol hasta una distancia de 31,6 petámetros del Escalón 34, habríamos llegado más allá de cualquier objeto del Sistema Solar, e incluso de la capa de cometas. Nos hallaríamos fuera del Sistema Solar, aunque no encontraríamos ningún objeto conocido que no estuviese sujeto al Sol, en el sentido de mantener una órbita en torno al mismo.

Sin embargo, más allá de la distancia del Escalón 34 se encuentran las estrellas. Sólo en 1838, el astrónomo alemán Friedrich W. Bessel calculó por vez primera la distancia de una estrella. La estrella cuya distancia fue determinada por Bessel era conocida por los astrónomos como 61 del Cisne, y no es la más cercana. La distancia de la estrella más cercana fue publicada al año siguiente por el astrónomo escocés Thomas Henderson.

La estrella más cercana es «Alfa del Centauro». Se trata de la más brillante de la constelación del «Centauro», la cual se halla tan hundida en el firmamento meridional, que sólo es visible, por ejemplo, en los territorios más meridionales de Estados Unidos.

Alfa del Centauro se encuentra a 41,6 petámetros (4,4 años-luz) del Sol, poco más allá, por lo tanto, de la distancia del Escalón 34. Es muy probable que Alfa del Centauro, al igual que nuestro Sol, esté rodeada por una capa de cometas. En sus regiones más exteriores, dicha capa, así como la nuestra, puede estar alejada una de otra por un espacio de un año-luz. En este caso, alguno de los helados cometas que giran en torno a Alfa del Centauro puede hallarse a una distancia de nuestro Sol dentro de los límites del Escalón 34.

Alfa del Centauro se diferencia de nuestro Sol en una cuestión importante. Aunque el Sol es una sola estrella, sin más cuerpo autoluminoso que gire en torno a él, Alfa del Centauro es una estrella doble. Lo que parece una única estrella a simple vista, son dos estrellas separadas por una distancia respetable, de unos 3,5 gigámetros, algo más que la distancia del Sol al planeta Urano. La más brillante de las dos estrellas, «Alfa del Centauro A», es casi exactamente gemela de nuestro Sol. La más apagada de las dos, «Alfa del Centauro B», posee sólo una cuarta parte de luminosidad que Alfa del Centauro A o nuestro Sol.

En 1913 un astrónomo británico, Robert Innes, descubrió una estrella muy débil, no muy lejos de Alfa del Centauro y casi a la misma distancia de nosotros que Alfa del Centauro. En realidad, la estrella más débil se encuentra algo más cerca de nosotros, y sólo a 40,4 petámetros (4,27 años-luz) de distancia. Por ello se denomina «Próxima del Centauro» (en latín, «Próxima Centauri»). Es una estrella pequeña que gira en torno a la

más distante estrella doble de Alfa del Centauro (Alpha Centauri), que posiblemente se halle a 1 terámetro de Próxima del Centauro. Por tanto, Alfa del Centauro es un sistema de tres estrellas, y Próxima del Centauro es «Alfa del Centauro *C*».

Resumiendo: No mucho más allá de la distancia del Escalón 34 hay tres estrellas que representan los más cercanos vecinos que tenemos en el espacio exterior a nuestro Sistema Solar.

En realidad, los astrónomos determinaron primero las distancias de las estrellas más cercanas al medir su «paralaje» (su cambio aparente de posición, contra el telón de fondo de las estrellas más lejanas, lo mismo que la Tierra se mueve de un lado a otro del Sol en el transcurso de un año). Este paralaje es mayor cuanto más próxima se encuentra la estrella, pero incluso en el caso de Próxima del Centauro, donde el paralaje sería más grande éste es de sólo unos 0,75 segundos de arco. (Un segundo de arco es tan pequeño que costaría 1 296 000 segundos dar la vuelta al firmamento.)

Naturalmente, la distancia a la que debería localizarse una estrella para tener un paralaje de un segundo completo de arco es menor que la distancia de Próxima del Centauro. Una estrella debería estar a una distancia de 30,84 petámetros (3,26 años-luz) para tener un paralaje de un segundo de arco. Tal distancia se denomina «parsec» (en cuya voz, «par» es la abreviatura de «paralaje», y «sec», de «segundo»), y se halla casi exactamente en la distancia del Escalón 34.

El parsec es cada vez más usado por los astrónomos, por ser una medida de distancia más conveniente que el año-luz, pero no se ha incluido en las medidas permitidas por el sistema SI.

En realidad, no hay ninguna estrella que aparezca a 1 parsec de distancia del Sol.

ESCALÓN 35
100 000 000 000 000 000 de metros (10^{17} m)
100 petámetros (10^{2} Pm)

Dentro de los 100 petámetros del Sol (3,2 parsecs) se encuentra una docena de estrellas. Las mismas incluyen, claro está, a las tres estrellas del sistema de Alfa del Centauro.

Abarca asimismo a Sirio, la estrella que brilla con más intensidad en el firmamento visto desde la Tierra. Se halla a 81,7 petámetros (2,65 parsecs) de nosotros, y se trata de un sistema de dos estrellas. La más brillante, Sirio A, es mayor y más luminosa que el Sol. La más apagada, Sirio B, es una pequeña estrella de entre las llamadas «enanas blancas», de las que trataremos más adelante.

Justamente más allá del ámbito del Escalón 35, a una distancia de 102 petámetros (3,3 parsecs) se encuentra Épsilon Eridani. Se trata de la más cercana estrella parecida al Sol, en el sentido de que es una estrella única y bastante similar al Sol en tamaño y luminosidad.

ESCALÓN 36
316 000 000 000 000 000 de metros ($10^{17,5}$ m)
316 petámetros ($10^{2,5}$ Pm)

Ahora, con cada escalón adicional, el número de estrellas incluidas en tal distancia se multiplican aproximadamente por 30. Dentro de los 316 petámetros (10,25 parsecs) del Sol, existen posiblemente 360 estrellas.

Se incluye un sistema de doble estrella, 61 del Cisne, que fue la primera cuya distancia se determinó. Se halla a 104 petámetros (3,37 parsecs) del Sol. La estrella más brillante, Proción, está a 108 petámetros (3,50 parsecs) del Sol.

A una distancia de 112 petámetros (3,62 parsecs) se halla Tau Ceti, una estrella única más cerca del Sol que Épsilon Eridani en tamaño y luminosidad. Cuando los astrónomos realizaron sus primeros intentos por investigar el firmamento, en busca de posibles ondas de radio que pudiesen indicar la existencia de civilizaciones extraterrestres, Tau Ceti y Épsilon Eridani fueron las primeras estrellas hacia las que apuntaron los radiotelescopios. (Hasta ahora no se ha descubierto nada.)

Existen otras estrellas brillantes dentro de las distancias del Escalón 36. Son Altair, a 157 petámetros (5,09 parsecs), Fomalhaut, a 216 petámetros (6,99 parsecs) y Vega, a 247 petámetros (8,01 parsecs).

Cabe suponer que la razón de que estas estrellas parezcan ser tan brillantes es que se hallan muy cerca de nosotros, y éste, ciertamente, es un factor muy importante en su brillo. Cualquier estrella, por luminosa que sea, se apagará hasta hacerse invisible si se encuentra a la suficiente distancia de nosotros.

No obstante, incluso la estrella más cercana no aparecería realmente brillante si no fuese tan luminosa, por lo menos, como nuestro Sol. Cuanto más lejos se halle, más luminosa tiene que ser para brillar con fuerza en nuestros cielos. Las estrellas realmente luminosas, las que lo son tanto como el Sol, o más aún, suponen sólo 1/8 del total. Siete de cada ocho estrellas son más débiles que nuestro Sol, y la mayor parte de las mismas son considerablemente más apagadas.

Estas estrellas tenues, pequeñas y apenas encendidas, se denominan «enanas rojas», y no son visibles a simple vista, por muy cerca que se encuentren de nosotros (en distancias estelares). La «Estrella Barnard» es una enana roja y, aunque sólo se halla a una distancia de 55,8 petámetros (11,8 parsecs), de tal manera que sólo el sistema de Alfa del Centauro está más cerca de nosotros, es tan débil, que sólo se ve con ayuda de un telescopio.

En realidad, Próxima del Centauro, la más cercana de todas las estrellas, es una muy débil enana roja, no visible sin telescopio.

ESCALÓN 37
1 000 000 000 000 000 000 de metros (10^{18} m)
1 exámetro (10^{0} Em)

A la distancia del Escalón 37 alcanzamos los 1 000 petámetros, lo cual equivale a 1 exámetro, o 1 trillón de metros (o 1 quintillón según el sistema norteamericano). El exámetro se simboliza por «Em».

Dentro de un exámetro del Sol hay, por lo menos, 10 000 estrellas, y se incluyen aquí algunas de las más brillantes que no hemos mencionado. Se trata de Arturo, a 0,34 exámetros (11 parsecs); Pólux, a 0,37 exámetros (12 parsecs); Capella, a 0,44 exámetros

(14 parsecs); Aldebarán, a 0,49 exámetros (16 parsecs); Achernar, a 0,61 exámetros (60 parsecs) y Canope, a 0,93 exámetros (30 parsecs). Figuran entre las veinte estrellas más brillantes del firmamento, un grupo que constituye las «estrellas de primera magnitud».

En cuanto nos apartamos del Sol, esas estrellas que son, a pesar de su lejanía, de primera magnitud, deben ser mucho más luminosas que el Sol. Nuestro Sol apenas sería visible sin ayuda de instrumentos desde Achernar.

ESCALÓN 38

3 160 000 000 000 000 000 de metros ($10^{18,5}$ m)
3,16 exámetros ($10^{0,5}$ Em)

En las distancias del Escalón 38 incluimos dos estrellas de primera magnitud a las que no hemos llegado antes. Se trata de Spica, a una distancia de 2,5 exámetros (80 parsecs) y Beta del Centauro, a 2,75 exámetros (90 parsecs).

ESCALÓN 39

10 000 000 000 000 000 000 de metros (10^{19} m)
10 exámetros (10^{1} Em)

Hay no menos de cinco estrellas brillantes que no hemos alcanzado hasta este escalón. Alfa Crucis y Antares se hallan a una distancia de 3,7 exámetros (120 parsecs), pero, como es natural, en diferentes direcciones; Beta Crucis y Betelgeuse están a 4,6 exámetros (150 parsecs); y Rigel, a 7,7 exámetros (250 parsecs).

ESCALÓN 40

31 600 000 000 000 000 000 de metros ($10^{19,5}$ m)
31,6 exámetros ($10^{1,5}$ Em)

Sólo una estrella de primera magnitud está más allá de la distancia del Escalón 39, aunque no mucho. Puede incluirse ahora. Se trata de Deneb, la estrella más brillante de la constelación del Cisne (Cygnus). Se encuentra a una distancia de 13,25 exámetros (430 parsecs).

Con esto hemos sobrepasado la distancia de las estrellas más brillantes en el firmamento, y debemos tratar sólo de las más débiles. En realidad, en este escalón dejamos atrás lo que podríamos considerar «la vecindad del Sol».

Una distancia de 30,84 exámetros, que se halla muy cerca de la distancia del Escalón 40, equivale a 1 000 parsecs, ó 1 «kiloparsec». Aunque no se trata de una unidad permitida en el sistema SI, la emplean con frecuencia los astrónomos.

ESCALÓN 41

100 000 000 000 000 000 000 de metros (10^{20} m)
100 exámetros (10^{2} Em)

Las estrellas se agrupan de muy diferentes formas. No hay sólo estrellas dobles y dos o tres pares de estrellas dobles en asociación. Existen enjambres más grandes de estrellas, unidas entre sí por la influencia gravitacional. Entre los más pequeños tenemos los «enjambres abiertos», llamados así porque están distribuidos lo suficientemente

aislados como para ser considerados abiertos, es decir, estimadas como individualidades sus estrellas visibles. Tales enjambres abiertos pueden contener, desde un núcleo de estrellas, hasta un millar de las mismas. Naturalmente, son más fáciles de ver y de reconocer como un grupo a distancia, que si se tratase de estrellas individuales distribuidas al azar por el firmamento.

Existe un enjambre abierto en Sagitario y tres en Auriga que se hallan a una distancia entre sí de 37 exámetros (1,25 kiloparsecs), y se observan también otros enjambres abiertos al doble de esa distancia: 76 exámetros (2,5 kiloparsecs).

ESCALÓN 42
316 000 000 000 000 000 000 de metros ($10^{20,5}$ m)
316 exámetros ($10^{2,5}$ Em)

Existen tres enjambres de estrellas mayores y más impresionantes que los enjambres abiertos. Constituyen unas amplias disposiciones esféricas de estrellas densamente amontonadas. En un solo «enjambre globular» de esta clase hay centenares de millares e incluso millones, de estrellas.

El más espectacular es el «Gran enjambre globular», de la constelación de Hércules, que se encuentra a unos 200 exámetros (6,8 kiloparsecs) de nosotros.

Hay unos 100 enjambres globulares visibles en el firmamento, y se estima que debe de haber un centenar más que no son visibles porque quedan oscurecidos por nubes de polvo. Los enjambres se hallan, en su mayor parte, en la constelación de Sagitario y regiones contiguas, y parecen disponerse en una capa respecto a un punto más distante.

En realidad, cuando se estudian las estrellas del ámbito del Escalón 42, resulta evidente que no se hallan distribuidas al azar en el espacio. Por el contrario, parecen formar parte de un conglomerado más vasto y lentiforme de estrellas, con su centro en alguna parte de la constelación de Sagitario. Cerca de este centro se distribuyen los enjambres globulares que se hallan a unos 285 exámetros (9,2 kiloparsecs de nosotros).

No podemos ver este centro con telescopios ordinarios, puesto que está oscurecido por nubes de polvo, pero sabemos, de todos modos, que se halla allí. La capa de enjambres globulares constituye una pieza de convicción y, desde el advenimiento de los radiotelescopios, podemos detectar con gran facilidad y precisión ondas de radio (que pueden penetrar en las nubes de polvo). Las ondas de radio procedentes del centro demuestran la existencia y localización de este centro, hasta constituir una virtual certeza.

Dado que la aglomeración de estrellas de las que forma parte el Sol es lentiforme, la vista del cielo difiere según la dirección en que miremos. A lo largo del eje mayor de la lente vemos una multitud de estrellas tan distantes y tan débiles, que se funden en una neblina levemente luminosa; es la llamada «Vía Láctea». En otras direcciones, observamos estrellas individuales sin el telón de fondo de la niebla luminosa.

Por ello, el conglomerado lentiforme se denomina «la Galaxia», según la frase que los griegos empleaban para denominar la Vía Láctea.

Ahora, en que hemos llegado a la distancia del Escalón 42, carece de utilidad considerar las estrellas como individuales. Sólo nos interesa la Galaxia como un todo.

A partir de aquí, supondremos que medimos las distancias desde el centro de la Galaxia, en vez de hacerlo desde el Sol. Si consideramos toda la Galaxia que se encuentra a partir de 316 exámetros del centro, nuestro Sol se hallaría incluido cerca del límite de dicha distancia.

Habría estrellas localizadas a mayor distancia del centro de lo que se encuentra nuestro Sol, pero serían relativamente pocas y distribuidas de modo escaso.

ESCALÓN 43
1 000 000 000 000 000 000 000 de metros (10^{21} m)
1 000 exámetros (10^{3} Em)

La versión SI del sistema métrico no nos proporciona un prefijo que nos permita representar 1 000 exámetros (1 000 trillones de metros, 1 sixtillón según el sistema norteamericano) como una unidad y, por tanto, deberemos quedarnos con los exámetros hasta el final.

A la distancia del Escalón 43 del centro de la Galaxia, abarcaríamos la totalidad de la misma. La longitud del eje de la Galaxia es de 950 exámetros (30 kiloparsecs), aunque algunas cifras recientes podrían indicar que sólo sería las tres cuartas partes de esa longitud.

Podemos afirmar que dentro de los 1 000 exámetros del centro galáctico habría hasta 300 000 000 000 de estrellas, en su amplia mayoría considerablemente más pequeñas y menos luminosas que nuestro Sol. Y, lo que es más, no habría nada en esta distancia que no pudiese ser incluido con garantía como parte de la Galaxia.

Asimismo, en los años 1920 los astrónomos sospechaban que la Galaxia representaría todo el Universo, pero seguimos adelante...

ESCALÓN 44
3 160 000 000 000 000 000 000 de metros ($10^{21,5}$ m)
3 160 exámetros ($10^{3,5}$ Em)

Si llevamos nuestro punto de vista hasta una distancia del Escalón 44 a partir del centro galáctico, encontraremos dentro de dicha distancia dos grandes conglomerados de estrellas, que parecen estar fuera de la Galaxia. No son tan grandes como la Galaxia, pero el más pequeño contiene unos 50 000 000 de estrellas, y el más grande, 300 000 000. Podrían considerarse «galaxias enanas».

La más cercana de ellas se halla a una distancia de 1 500 exámetros (50 kiloparsecs), y la más alejada, a 1 700 exámetros (55 kiloparsecs).

Esos conglomerados no pueden verse desde la Zona Templada Norte, pero se pueden observar si se viaja hacia el Sur. Los primeros europeos que las vieron —los españoles de la tripulación de Magallanes—, las observaron cuando sus barcos se abrieron paso a través de la línea costera más meridional de Sudamérica, en el transcurso de su primera circunnavegación del Globo, en 1519-1522. Por esta razón las llamaron «Nubes de Magallanes», y a juzgar por su aspecto, se trataría de porciones separadas de la Vía Láctea.

Otras dos galaxias enanas se encuentran dentro de la distancia del Escalón 44. Una se halla en la constelación de la Osa Menor y la otra, en la del Escultor. La primera está a 2 000 exámetros (67 kiloparsecs) de distancia, y la segunda, a 2 500 (83 kiloparsecs). La galaxia del Escultor posee tal vez 5 000 000 de estrellas, y la de la Osa Menor, aún menos. Dado que son más pequeñas y están más alejadas que las Nubes de Magallanes, sólo son visibles con telescopio.

Puede hallarse una tercera galaxia a una distancia de 3 100 exámetros (100 kiloparsecs), que está muy cerca del límite de la distancia del Escalón 44.

Estas cinco galaxias enanas pueden considerarse como satélites de la gigantesca Galaxia de la Vía Láctea.

ESCALÓN 45
10 000 000 000 000 000 000 000 de metros (10^{22} m)
10 000 exámetros (10^4 Em)

En este escalón se encuentran otras tres galaxias enanas, a las distancias de 7 100 exámetros (230 kiloparsecs), 7 500 exámetros (245 kiloparsecs) y 8 500 exámetros (275 kiloparsecs).

ESCALÓN 46
31 600 000 000 000 000 000 000 de metros ($10^{22,5}$ m)
31 600 exámetros ($10^{4,5}$ Em)

Una distancia de 31 600 exámetros es igual a 1 025 kiloparsecs, o poco más de 1 megaparsec (un millón de parsecs). Por tanto, ahora nos encontramos en el nivel del megaparsec.

Si llegásemos a esa distancia desde el centro de la Galaxia, incluiríamos, además de nuestra Galaxia de la Vía Láctea, unas veinte galaxias enanas más.

A una distancia de 20 000 exámetros (0,67 megaparsecs) encontramos la primera galaxia gigante, aparte la nuestra. Este gigante es la constelación de Andrómeda y, por tanto, se trata de la «galaxia de Andrómeda». En realidad, es un 50 por 100 más grande que nuestra Galaxia y tiene, además, unos 450 000 000 000 de estrellas.

La galaxia de Andrómeda es tan grande y luminosa que, a pesar de su vasta distancia, es visible a simple vista como una senda pequeña y neblinosa. La misma, y la mucho más cercana Nube de Magallanes, son los únicos cuerpos en el exterior de nuestra Galaxia observables a simple vista. La galaxia de Andrómeda es el objeto más alejado que el ojo humano puede ver sin ayuda mecánica.

A una distancia de 30 000 exámetros (1 megaparsec), exactamente en el límite del Escalón 46, se encuentra otra galaxia, no tan extensa como la de Andrómeda, y que se llama «Maffei 1», en honor de su descubridor, el astrónomo italiano Paolo Maffei. El descubrimiento se realizó sólo a finales de los años 1960, puesto que Maffei 1 se ve tan cercana de la Vía Láctea, que queda oscurecida casi completamente por las nubes de polvo interestelar de la región.

La Galaxia Vía Láctea, la galaxia de Andrómeda y la Maffei 1, junto con todas las galaxias enanas que se arraciman en medio y en torno a ellas, contienen en total tal vez 1 000 000 000 000 de estrellas, y si todo esto constituyese el Universo, sería ya de por sí ciertamente enorme, pero no es todo el Universo.

El auténtico tamaño del Universo es tal, que todo lo que se halla dentro del límite del Escalón 46 (es decir, dentro del ámbito del megaparsec) es conocido, simplemente, como «el Grupo Local». Todas las galaxias incluidas en el Grupo Local se mantienen unidas por gravitación mutua y se mueven como los miembros de un enjambre. (En estos momentos, la galaxia Andrómeda deriva lentamente hacia nosotros.)

ESCALÓN 47

100 000 000 000 000 000 000 000 de metros (10^{23} m)
100 000 exámetros (10^{5} Em)

A medida que salimos del límite del Escalón 46, dejamos detrás de nosotros el Grupo Local y, a partir de este punto, nos encontramos con más y más galaxias, algunas de ellas notables por una u otra razón.

La galaxia «M81» se llama así porque es la octogésimo primera de una lista de cien cuerpos borrosos, descubierta por el astrónomo francés Charles Messier. Éste era un «cazador de cometas» que deseaba asegurarse de que los demás cazadores de cometas no confundiesen aquellos objetos, aparentemente sin importancia, con la mancha borrosa de un cometa. No tenía la menor idea de que los diversos objetos que había catalogado fuesen enormemente más importantes que los cometas...

La galaxia M81 se encuentra a unos 95 000 exámetros (3 megaparsecs) de distancia. Al igual que nuestra Galaxia y la galaxia de Andrómeda, muestra una estructura espiral. Se trata de tres ejemplos de «galaxias en espiral».

También a unos 95 000 exámetros de distancia se encuentra M82, la cual es una «galaxia irregular», que no tiene una estructura geométrica claramente definida. (Las Nubes de Magallanes son ejemplos de galaxias irregulares.) En el caso de la M82, su irregularidad parece haber sido debida a una tremenda explosión en sus regiones centrales, donde es más denso el enjambre de estrellas. La explosión debió de durar millones de años, y aún no estamos seguros ni de su causa ni de su naturaleza.

M82 es un ejemplo de «galaxia activa», en el sentido de que emite una enorme energía, como resultado de algún tipo de procesos desarrollados en su centro. Es la galaxia activa más próxima a nosotros.

A una distancia de 110 000 exámetros (3,6 megaparsecs), poco más allá de la distancia del Escalón 47, se encuentra M51, una bella galaxia en espiral, que puede verse en un ángulo recto de su plano galáctico. La estructura espiral resulta tan evidente que, ha recibido el nombre de «Galaxia del Remolino». Se trata de la primera galaxia cuya estructura espiral fue observada, ya en 1845, por el astrónomo irlandés Lord Rosse.

ESCALÓN 48

316 000 000 000 000 000 000 000 de metros ($10^{23,5}$ ni)
316 000 exámetros ($10^{5,5}$ Em)

A una distancia de 250 000 exámetros (8 megaparsecs) se halla una galaxia irregular, la NGC 4 449. Se llama así por ser el cuerpo 4 449.° de la lista del «Nuevo Catálogo General» de galaxias (una lista iniciada por William Herschel y revisada y ampliada, a intervalos, a partir de entonces).

La galaxia M104, a una distancia de 380 000 exámetros (12 megaparsecs), justamente más allá de la distancia del Escalón 48, es una galaxia en espiral, que es observada en su borde. El núcleo sobresale hacia arriba y hacia abajo, mientras que el filo de la espiral corta a través del centro. El filo está lleno de nubes oscuras, que la convierten en una faja oscurecida a través de un fondo luminoso. Por esa razón se llama la «galaxia del Sombrero».

ESCALÓN 49
1 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros (10^{24} m)
1 000 000 de exámetros (10^{6} Em)

Al llegar al Escalón 49 que se encuentra en un ámbito del cuatrimillón de metros (un septillón según los usos norteamericanos), se hace difícil hablar de galaxias individuales.

Casi todas las galaxias forman parte de un enjambre u otro. Nuestro Grupo Local es un ejemplo de «enjambre galáctico», más bien pequeño, con no más de dos docenas de cuerpos. Existen enjambres que son, con mucho, más grandes.

Por ejemplo, el «enjambre Virgo» es un grupo constituido al menos por un millar de galaxias, todas conectadas gravitacionalmente. Se halla a unos 500 000 exámetros (16 megaparsecs) de distancia, y es el enjambre gigante más próximo a nosotros. Se ha sugerido que tal enjambre, junto con otros enjambres entre él mismo y el Grupo Local, forman parte de un «superenjambre local».

ESCALÓN 50
3 160 000 000 000 000 000 000 000 de metros ($10^{24,5}$ m)
3 160 000 exámetros ($10^{6,5}$ Em)

Otro gran cúmulo de galaxias es el «enjambre Perseo», que se halla a unos 3 000 000 de exámetros de distancia (100 megaparsecs), es decir, muy cerca de la distancia del Escalón 50. La galaxia más grande de este enjambre es NGC 1 275. Es una «galaxia Seyfert», llamada así en honor del astrónomo norteamericano Carl Seyfert, que fue el primero en observar semejantes objetos en 1943.

Las galaxias Seyfert constituyen un tipo relativamente poco común de galaxia, constituida por una muy brillante y activa región central que es, comparativamente, más brillante que el resto de la galaxia, cual es el caso de las galaxias ordinarias, como la nuestra. No se sabe con seguridad la causa de esta actividad, si bien parece muy probable que estén generándose violentas explosiones.

A unos 3 500 000 exámetros (115 megaparsecs) de distancia se encuentra otro rico enjambre, el «enjambre Cabellera», localizado en la constelación Cabellera de Berenice. Puede contener hasta 10 000 galaxias.

ESCALÓN 51
10 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros (10^{25} m)
10 000 000 de exámetros (10^{7} Em)

A medida que nos acercamos a la distancia del Escalón 51, se hace muy difícil ver galaxias individuales. Un enjambre galáctico en la constelación del León está situado a unos 10 000 000 de exámetros de distancia (300 megaparsecs).

En 1963, el astrónomo holandés-norteamericano, Maarten Schmidt, mostró que ciertos objetos que habían sido tomados por estrellas débiles y sin interés especial en nuestra Galaxia, eran en realidad objetos en extremo luminosos a enormes distancias. Lo que de una forma clara los convirtió en algo más que unas estrellas ordinarias mortecinas fue el hecho de que constituían las fuentes de una muy intensa radiación de ondas de radio, y que parecían alejarse de nosotros a enormes velocidades. Tales velocidades de retroceso se asocian con las grandes distancias.

Estos objetos fueron llamados «fuentes de radio cuasiestelares», en que la expresión «cuasiestelar» significaba «parecidas a una estrella». Por lo general esta frase se apocopa y se convierte en la voz inglesa «quasars». Los quasars pueden ser unas galaxias Seyfert muy brillantes, aunque se hallan tan distantes, que sólo son visibles unos centros puntiformes luminosos de la galaxia.

Dada su velocidad de huida, suele darse por supuesto que todos los quasars se hallan en extremo distantes (si bien hay astrónomos que no aceptan esto y que tratan de hallar formas de mostrar que los quasars se encuentran relativamente cercanos a nosotros). No obstante, si el punto de vista común es el correcto, tendríamos que el quasar más cercano, 3C273 (el 273.° de la lista del tercer catálogo de Cambridge relativo a radiofuentes), se halla a unos 10 000 000 de exámetros de distancia.

ESCALÓN 52

31 600 000 000 000 000 000 000 000 de metros ($10^{25,5}$ m)
31 600 000 exámetros ($10^{7,5}$ Em)

La distancia del Escalón 52 está muy cercana de los 1 000 megaparsecs. En otras palabras, hemos alcanzado la distancia de un gigaparsec (mil millones de parsecs, o un billón de parsecs según la terminología norteamericana).

A medida que nos aproximamos a esa distancia, virtualmente no hay nada que podamos ver, excepto quasars y algunos pocos enjambres galácticos. Hay un enjambre en la constelación de Hidra, que puede hallarse a poco más de 28 000 000 de exámetros (0,92 gigaparsecs) de distancia.

ESCALÓN 53

100 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros (10^{26} m)
100 000 000 de exámetros (10^{8} Em)

En 1973, un quasar, OH471 y, en 1981, otro quasar, 3C427, se descubrió que poseían velocidades de huida tan grandes, que indicaban una distancia de unos 110 000 000 de exámetros (3,7 gigaparsecs), lo cual se encuentra más allá de la distancia del Escalón 153.

No sólo pueden ser los objetos más alejados que hayamos visto hasta ahora, sino que también es posible que sean los objetos más alejados que nos sea permitido divisar. Más allá de ellos sólo se encuentra una impenetrable neblina, que tal vez señale las fronteras del Universo visible (por razones que explicaré más adelante). Esta frontera se encontraría a unos 120 000 000 de exámetros (3,8 gigaparsecs) de distancia.

ESCALÓN 54

316 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros ($10^{26,5}$ m)
316 000 000 de exámetros ($10^{8,5}$ Em)

Si la distancia del borde observable del Universo se halla a 120 000 000 de exámetros, podemos representar el Universo como un globo de unos 240 000 000 de exámetros de diámetro (7,7 gigaparsecs).

ESCALÓN 55
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros (10^{27} m)
1 000 000 000 de exámetros (10^{9} Em)

Según lo dicho en los dos escalones anteriores, el Universo observable puede considerarse como un globo de una circunferencia de 750 000 000 de exámetros, lo cual supone sólo las tres cuartas partes de la distancia del Escalón 55, de mil cuatrillones de metros (1 octillón, según los usos anglosajones y franceses).

Y, así, hemos salido del Universo. En 54 escalones, cada uno de ellos mitad del orden de magnitud respecto al siguiente, hemos progresado desde la distancia perfectamente ordinaria de un metro —que es la mitad de la altura de un jugador de baloncesto— hasta la circunferencia de todo el Universo.

LA ESCALERA DE LA LONGITUD HACIA ABAJO

ESCALÓN 1
1 metro (10^0 m)

Tras haber ido desde el metro hasta la mayor distancia razonable, volvamos de nuevo al metro y recordemos que se trata de una medida particularmente humana.

Aproximadamente, la pierna humana tiene un metro de longitud. El cuerpo humano, desde la pelvis a la cabeza, tiene también, más o menos, un metro de longitud. Podemos coger con facilidad una vara de un metro entre las manos. Muchos animales familiares miden alrededor de un metro de longitud, lo mismo que muchos útiles, tales como sillas, mesas, librerías, etcétera.

El metro es, pues, una medida humana, pero no podemos quedarnos con él. Lo mismo que hemos subido antes por la escalera de la longitud hacia unas distancias cada vez más crecientes, ahora debemos bajar hacia unas distancias cada vez más decrecientes.

No obstante, se plantea el problema de cómo debemos representar en números exponenciales un número inferior a 1 (ya sea una fracción ordinaria o decimal).

Por ejemplo, 1 metro dividido por 10 es igual a 1/10 de metro, o bien, 0,1 metro. ¿Cómo se representa esto en cifras exponenciales?

Ya hemos decidido que 1 puede representarse como 10^0, y 10, por 10^1. Si decimos «1 dividido por 10», estamos diciendo «10^0 dividido por 10^1» y pidiendo la respuesta. Según la regla de sustracción de los exponentes en la división, que ya expliqué exactamente al principio de este libro, hemos decidido que «10^0 dividido por 10^1» es 10^{0-1} ó 10^{-1}. Por tanto, llegamos a la conclusión de que 1/10 (que también podemos escribir como $1/10^1$) es igual a 10^{-1}.

De la misma manera, podemos demostrar con facilidad que $1/100 = 1/10^2 = 10^{-2}$; que $1/1\,000 = 1/10^3 = 10^{-3}$, y así sucesivamente. En general, $1/10^n = 10^{-n}$. (Es posible leer tales números como «diez a la menos primera potencia», «diez a la menos segunda potencia», etcétera. O, más brevemente, «diez elevado a menos uno», «diez elevado a menos dos», etcétera.)

En tales exponenciales negativos, el numeral en el exponente representa el número de ceros en el denominador del número cuando se expresa en una fracción ordinaria. Así, dado que la fracción 1/10 000 000 tiene siete ceros en el denominador, sabemos que equivale a 10^{-7}. Y si queremos expresar 10^{-12} en una fracción ordinaria, contaremos los ceros y escribiremos: 1/1 000 000 000 000.

Dado que 1/10 es lo mismo que 0,1, sabemos también que $0{,}1 = 10^{-1}$. De forma similar, 0,01 es 10^{-2}; 0,001 es 10^{-3}, y así sucesivamente. Como vemos, la porción numérica del exponente es igual al número de ceros en la fracción decimal, dado que, como sabemos, se ha de poner y contar un cero a la izquierda del punto decimal. Por tanto, 10^{-28} puede escribirse así: 0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 1. (Tiene mucho más sentido emplear el número exponencial, y me parece que en esto se hallará de acuerdo el lector.)

Al dar pasos hacia abajo, procederemos de la misma forma que hicimos en los escalones hacia arriba. Sin embargo, en vez de multiplicar cada vez por 3,16, deberemos dividir por 3,16. Si dividimos 1 metro por 3,16, obtendremos 0,316 455 6..., y leeremos 0,316. Si dividimos 0,316 por 3,16 conseguiremos 0,1, etcétera.

De esta forma bajaremos la escalera en unos peldaños de mitad de un orden de magnitud, desde 10^{0} a $10^{-0,5}$ y a 10^{-1}, y así sucesivamente.

ESCALÓN 2
0,316 metros ($l0^{-0,5}$ m)
3,16 decímetros ($10^{0,5}$ dm)

El prefijo «deci-» fue adoptado por los primeros creadores del sistema métrico para representar la décima parte de una unidad básica; por tanto, un «decímetro» es la décima parte de un metro.

El prefijo procede de la palabra latina para expresar «diez», y es lamentable que sea similar a «deca-», que se emplea para medir lo que equivale a diez veces la unidad básica, por lo cual un decámetro es igual a 100 decímetros. Dado que «deci-» se simboliza por «d», y «decímetro», por «dm», «deca-» debe simbolizarse por «da», y «decámetro», por «dam».

Por suerte, hoy no se emplea muy a menudo el «deci-», y el «deca» se usa aún más raramente, ya que la similaridad sería intolerable.

Dado que un metro es igual a 39,37 pulgadas, según la medición normal norteamericana, 0,316 metros es igual a 12,44 pulgadas, o bien algo más que un «pie».

El pie no contradice su nombre, puesto que se tomó por medida la longitud de un pie humano. La leyenda persiste en la suposición de que originariamente fue la longitud de algún pie distinguido, como el de Carlomagno. Así debió de ser. Cabe esperar que la longitud del pie será mayor en un hombre alto que en un hombre bajo, y mi pie (según la media, soy más bien alto) tiene 11 1/4 pulgadas de longitud, mientras que Carlomagno, que medía más de seis pies de altura, podría muy bien haber tenido un pie de 12 pulgadas de longitud.

Los animales pequeños corrientes se encuentran en este ámbito de altura o longitud: gatos, perros, tejones, conejos, pollos, patos, etcétera.

Hay animales en este ámbito que pertenecen a grupos respecto a los cuales pensamos que son mayores. Por ejemplo, creemos que los ciervos son animales moderadamente grandes. El mayor ciervo es el alce de Alaska, que tiene una altura de 2 metros en la cruz. Sin embargo, el ciervo más pequeño puede no medir más de 2 decímetros (8 pulgadas) de altura en la cruz. Es el rumiante más pequeño que existe.

Incluso más extremado es el caso de los dinosaurios, a los que, por lo general, consideramos como animales parecidos a montañas y que incluso como grupo fueron los animales terrestres más grandes que nunca hayan vivido. Sin embargo, el dinosaurio más pequeño de que se tiene noticia, el *Compsognathus*, era, más o menos, del tamaño de una gallina, y no medía más allá de 6 decímetros de longitud.

Hay también objetos en este ámbito pertenecientes a las clases que, por lo general, consideramos como pequeñas. Por ejemplo, los huevos nos parecen, comparativamente, objetos pequeños, sin duda mucho menos largos que un pie. Sin embargo, en la isla de Madagascar vivió otrora un ave llamada Aepyornis, la más pesada que jamás haya existido. No se extinguió hasta 1660, y puede haber sido la fuente del legendario «roc» o «ruj», la imposible enorme ave representada en los cuentos de Simbad el Marino, de

Las Mil y Una Noches, El huevo de una Aepyornis era el más grande puesto jamás por cualquier criatura, y debió de aproximarse a los 3 decímetros de longitud.

Una vez más, pensamos en los insectos como animales pequeños, que se encuentran muy por debajo de la dimensión del Escalón 2. Sin embargo, hay excepciones. Hay especies de insectos palo que son inusualmente largos; el de más longitud que se ha medido tenía 3,3 decímetros (13 pulgadas). Otros insectos son grandes a causa de la envergadura de sus alas como, por ejemplo, las mariposas. En las islas Salomón vive una mariposa gigante con una envergadura de más de 3 decímetros. A este respecto, hubo libélulas prehistóricas —extinguidas hace ya, por lo menos, 200 000 000 de años— que eran el doble de grandes y que tenían una envergadura de hasta 7 decímetros (27 1/2 pulgadas). Esto significa que los insectos mayores medían más que el dinosaurio más pequeño, lo cual constituye una imbricación fuera de lo corriente.

Una onda sonora de 3,16 decímetros de longitud será, en su tono, un «do» superior al «do mayor», lo cual constituye un sonido más bien estridente.

Una onda electromagnética de 3,16 decímetros de longitud constituye la sección más breve de la región de las ondas de radio. Por esto, se llama región de «microondas». «Micro» procede de la voz griega «mikros», que significa «pequeño» y, por lo general, los científicos la emplean para cosas *muy* pequeñas. Así, los «microorganismos» son cosas vivientes demasiado pequeñas como para poder ser vistas, y un «microscopio» es un mecanismo para hacer visibles tales cosas. Sin embargo, las microondas no son *muy* cortas. Existen incluso ondas electromagnéticas, muchísimo más cortas que las microondas, y aquí el prefijo indica sólo que las ondas son las más pequeñas de la región de ondas de radio. Así, pues, «microondas» es un nombre más bien erróneo.

Las microondas se hicieron particularmente importantes durante la Segunda Guerra Mundial, cuando empezaron a usarse en el radar.

La atmósfera suele ser opaca a las ondas de radio, por existir en la atmósfera superior regiones ricas en partículas cargadas eléctricamente (regiones llamadas «ionosfera»), que reflejan las ondas de radio. Esto significa que las ondas de radio originadas en la Tierra no pueden pasar a través de la atmósfera hasta el espacio exterior, y que las ondas de radio originadas en el espacio exterior no pueden atravesar la atmósfera para llegar a la superficie de la Tierra.

Sin embargo, las microondas *pueden* atravesar la ionosfera, y, desde la superficie de la Tierra es posible detectar esas ondas de radio muy cortas cuando son emitidas por objetos en el espacio. El estudio de tales ondas se llama hoy «radioastronomía», y se lleva a cabo por medio de los «radiotelescopios».

ESCALÓN 3
0,1 metros (10^{-1} m)
1 decímetro (10^{0} dm)

Un decímetro es igual a 4 pulgadas, según las medidas norteamericanas corrientes. La anchura de la mano masculina media (incluyendo el pulgar) es de 1 decímetro, y «un palmo» es una antigua unidad de medida que equivale a 4 pulgadas de longitud. Aún se emplea para medir la altura de los caballos en la cruz. Se dice que tienen tantos palmos de alzada.

Existen animales en los límites de longitud del Escalón 3. Una ardilla listada mide unos 1,5 decímetros de longitud, excluyendo la cola. La especie más pequeña de ratón puede llegar a 1,35 decímetros de longitud, *incluyendo* la cola.

Hay también escarabajos que tal vez no sean tan largos como algunos insectos palo, pero sí son mucho más voluminosos, y ello se extiende a este ámbito. El escarabajo Goliat puede medir casi 1,5 decímetros de longitud y competir así en tamaño con una ardilla listada sin cola.

Una onda de sonido de 1 decímetro de longitud se encuentra muy cerca del equivalente en tono de la nota más alta del teclado del piano.

Una onda electromagnética de 1 decímetro de longitud se halla aún en la región de las microondas. Una onda electromagnética de 2,1 centímetros de longitud es emitida por el hidrógeno frío, al realizar ciertos intercambios atómicos.

Puesto que el hidrógeno es la sustancia más común en el Universo, y dado que el hidrógeno congelado constituye, en particular, la mayor parte de la delgada materia esparcida por el espacio interestelar, es razonable suponer que *cualquier* especie inteligente, en cualquier lugar del Universo, quisiera estudiar esa porción particular del espectro de las microondas. Al estudiarlo todo, parecería posible que, si alguna especie inteligente desease enviar una señal, la emitiría en esa longitud de onda o en otra cercana a la misma, sabiendo que las otras especies inteligentes estarían equipadas para recibirla. Por tal razón, los astrónomos han inspeccionado varias partes del firmamento, poniendo especial atención en las radiaciones de este tipo. Pero no se ha detectado nada que pueda orientar hacia un origen, en apariencia inteligente.

ESCALÓN 4
0,031 6 metros ($10^{-1,5}$ m)
3,16 centímetros ($10^{0,5}$ cm)

El prefijo «centi-», simbolizado por «c», representa una centésima parte de una unidad básica; procede del latín «centum», que significa «cien». Por tanto, un «centímetro» es una centésima parte de metro. El prefijo no se usa de forma general, excepto en «centímetro», y su empleo se está perdiendo incluso aquí.

Ya hemos dejado atrás la más pequeña criatura adulta de sangre caliente. El mamífero más pequeño es la musaraña enana, que mide entre los 4 y los 5 centímetros de longitud, excluyendo la cola. El pájaro más pequeño es el colibrí, que tiene, más o menos, la misma longitud que la musaraña enana.

No podemos esperar que los animales de sangre caliente sean aún más pequeños, puesto que la temperatura corporal se mantiene gracias a la cantidad de tejido corporal vivo mientras que el calor se pierde a través de la superficie. Cuanto más pequeña es la criatura, mayor es la cantidad de superficie en comparación con la cantidad de tejido vivo. Por tanto, se hace cada vez más difícil, a medida que disminuye el tamaño, mantener la producción de calor en una proporción igual a la pérdida calórica, para que la temperatura corporal permanezca normal. Para ello, las musarañas y los colibríes deben comer de continuo y constantemente están al borde de la inanición.

Como es natural, los animales recién nacidos son mucho más pequeños que los adultos. Por ejemplo, el huevo de gallina tiene unos 5 centímetros de longitud, y éste es, por tanto, el tamaño de un pollito recién nacido. Sin embargo, los huevos de ave no pueden conservar el calor por sí mismos, y se mantienen calientes gracias al calor corporal de una ave adulta o bien de alguna otra fuente exterior.

Una onda de sonido de 3,16 centímetros de longitud se aproxima al límite de resonancia que puede ser captado por el oído humano, y una onda electromagnética de

3,16 centímetros de longitud se acerca al límite de longitud de onda inferior de la región útil en radar.

ESCALÓN 5
0,01 metros (10^{-2} m)
1 centímetro (10^{0} cm)

Un centímetro es igual a 2/5 de pulgada aproximadamente. El huevo más pequeño de ave es el del colibrí-abeja, que no mide más de 1,15 centímetros. Es el trozo más pequeño que existe de vida de sangre caliente.

Los animales de sangre fría pueden ser más pequeños que cualquier mamífero o ave, dado que no existe la necesidad de tener el tejido suficiente para producir el calor destinado a mantener una temperatura más elevada que la del medio ambiente.

Los reptiles más pequeños son unos geckos cuyas longitudes (excluyendo la cola), tienen sólo 1,8 centímetros. Hay tres especies de ranas en Cuba que, incluso en la edad adulta, alcanzan una longitud máxima de 1,25 centímetros, y son del tamaño de los huevos del colibrí abeja. El pez más pequeño, un gobio enano encontrado en los lagos y ríos de Filipinas, tiene un tamaño ligeramente inferior al centímetro de longitud, y se cree que se trata de la criatura vertebrada más pequeña que existe.

Como es natural, todos ellos son organismos multicelulares, formados por numerosas células, algunas de ellas en extremo especializadas.

De todos modos, un huevo, aunque sea grande —incluso un huevo de Aepyornis— es, hablando con propiedad, una sola célula, pero existen organismos adultos que son a un tiempo células individuales y «organismos unicelulares». Fueron descubiertos en 1676 por el microscopista holandés Anton van Leeuwenhoek.

Por lo general, los organismos unicelulares son considerablemente más pequeños que los animales multicelulares. Sin embargo, existe una imbricación en casi todas las clasificaciones realizadas sobre la base del tamaño. El organismo unicelular viviente más grande es un protozoo (una célula animal de vida independiente), que puede alcanzar una longitud de 1,5 centímetros y que está a la altura a este respecto, de los vertebrados más pequeños, aunque los últimos sean multicelulares. (Los numnulites, ahora extinguidos, eran células de protozoos con una longitud hasta de 2,4 centímetros.)

Una onda de sonido que tenga 1 centímetro de longitud es demasiado estridente para cualquier oído humano. Forma parte de la «región ultrasónica» y, dado que no existe onda aún más corta, ello nos obliga a dejar atrás las ondas sonoras, puesto que no nos ofrecen ya nada más de interés.

Una onda electromagnética de 1 centímetro de longitud está más allá de la región del radar. Las ondas que tienen aproximadamente esta longitud son emitidas por moléculas (grupos de átomos), y, cuando se detectan en la Tierra como procedentes de nubes interestelares, pueden usarse para identificar en el espacio la naturaleza de las moléculas.

ESCALÓN 6

0,003 16 metros ($1^{-2,5}$ m)
3,16 milímetros ($10^{0,5}$ mm)

El prefijo «mili», de la voz latina «mille», que significa «mil», se simboliza por «m», lo mismo que el «metro». Por tanto, un milímetro se simboliza por «mm». Cada vez más, «mili-» va remplazando a «centi-» y a «deci-». Nos estamos acercando al punto en que 1 centímetro será representado corrientemente, como 10 milímetros, y 1 decímetro, como 100 milímetros. Esto es aún más cierto donde esos prefijos se emplean para cualquier medida básica distinta del «metro».

Un milímetro es la milésima parte de un metro. Por tanto, 3,16 milímetros equivalen a 1/8 de pulgada en la medición común norteamericana.

En este estadio empezamos a acercarnos al límite inferior incluso de aquellas criaturas familiares que son desacostumbradamente pequeñas. El centípedo más pequeño tiene sólo 4,8 milímetros de longitud. Por otra parte, los mayores huevos de insecto conocidos, los de una especie de polilla, miden unos 3,2 milímetros.

ESCALÓN 7

0,001 metros (10^{-3} m)
1 milímetro (10^{0} mm)

Un milímetro —que es, aproximadamente 1/25 de pulgada—, nos lleva al límite inferior de lo que podemos ver a simple vista sin ninguna clase de ayuda.

La más pequeña especie de araña conocida, que se encuentra en Australia, tiene unos 0,8 milímetros de longitud, por lo menos la hembra, pues el macho sólo llega a los 0,6 milímetros. Las hormigas más pequeñas tienen aproximadamente el mismo tamaño.

Las ondas electromagnéticas de 1 milímetro de longitud se encuentran en el límite inferior del ámbito de las ondas de radio. Las que son aún más cortas se denominan «ondas infrarrojas». Se trata de un punto divisorio puramente artificial y arbitrario, que no representa ningún cambio fundamental en las propiedades.

ESCALÓN 8

0,000 316 metros ($10^{-3,5}$ m)
316 micrómetros ($10^{2,5}$ µn)

El prefijo «mili-» era usado para representar la fracción más pequeña de la unidad básica, tal como lo establecieron los creadores del sistema métrico. Hoy tenemos una serie de prefijos para cada uno de los tres órdenes de magnitud hacia los que nos dirigimos bajando por la escalera de la dimensión.

Así, el prefijo «micro-», que ya he mencionado en relación con las microondas, representa la millonésima parte de una unidad básica. Por ello, el «micrómetro» es la millonésima parte de un metro, o a una milésima de milímetro.

El prefijo «micro» es desafortunado, ya que su letra inicial, «m» es también la de «mili-». Y dado que «mili-» se ha apropiado de «m» como símbolo, y para «mega» se utiliza la «M», para «micro-» nos vemos forzados a usar como símbolo el equivalente de «m» en el alfabeto griego, el cual es «mu». Esta letra, en el alfabeto griego, se escribe µ, por lo cual «micrómetro» se simboliza por «µm».

Antes de que se normalizara el uso del «micrómetro» en la versión SI del sistema métrico, el término «micrón» se hizo de uso común como la millonésima de un metro, y todavía se encuentra ocasionalmente, aunque no se emplea en el sistema SI.

Los insectos más pequeños que conocemos se encuentran, exactamente, por debajo de la distancia del Escalón 8, y no llegan a los 200 micrómetros de longitud. Dichos insectos no son más grandes que los granos de arena corrientes.

Las ondas electromagnéticas de 316 micrómetros de longitud se encuentran aún en la región infrarroja.

ESCALÓN 9

0,000 1 metros (10^{-4} m)
100 micrómetros (10^{2} µm)

Los más pequeños organismos multicelulares pertenecen a la clase de los rotíferos. Existen 2 000 especies de las mismas, y ni siquiera los más grandes rebasan los 500 micrómetros de longitud. Los más pequeños miden sólo unos 80 micrómetros de longitud. Naturalmente, aunque tales organismos están compuestos por más de una célula, no poseen muchas, sino sólo unas pocas.

La célula más grande del cuerpo humano es el óvulo, o huevo celular, producido por la mujer. Es grande porque contiene un suministro alimenticio para el embrión en desarrollo en su primer estadio, antes de que se fije a la pared del útero y empiece a obtener su alimento por difusión, a través de la membrana placentaria, desde el torrente sanguíneo de la madre. El óvulo tiene una longitud de 140 micrómetros, por lo cual es mayor que un pequeño rotífero.

Las semillas de plantas más pequeñas, las de ciertas orquídeas, no miden más de 100 micrómetros de longitud, al igual que los huevos más pequeños de insectos. En contraste, los granos más pequeños de arena tienen una longitud de 60 micrómetros.

ESCALÓN 10

0,000 031 6 metros ($10^{-4,5}$ m)
31,6 micrómetros ($10^{1,5}$ µn)

El Escalón 10 nos lleva al ámbito de los organismos unicelulares corrientes. Comprende tres grupos: protozoos, relacionados con las células animales; algas, relacionados con las células de las plantas; y bacterias, que, estrictamente hablando, no son ni una cosa ni otra.

Las bacterias son, en general, más pequeñas que los protozoos o las algas, y constituyen, en realidad, las células más pequeñas que existen, aunque, una vez más, encontramos aquí una imbricación. Las mayores células bacterianas tienen longitudes que llegan hasta los 45 micrómetros.

ESCALÓN 11

0,000 01 metros (10^{-5} m)
10 micrómetros (10^{1} µn)

El paramecio común es uno de los protozoos más corrientes, examinado por los estudiantes que observan por primera vez a través de un microscopio. Tiene unos 10

micrómetros de longitud y se ve como una partícula en movimiento bajo una fuerte luz. Las células ordinarias del cuerpo humano se encuentran también en este ámbito. Las células hepáticas humanas poseen una longitud de 12 micrómetros.

ESCALÓN 12

0,000 003 16 metros ($10^{-5,5}$ m)
3,16 micrómetros ($10^{0,5}$ µm)

La mayor parte de la región del infrarrojo de las ondas electromagnéticas no puede atravesar la atmósfera. Sin embargo, pasan a través de la atmósfera las longitudes de onda infrarrojas en el ámbito del Escalón 12 y más cortas. La mayor parte de los infrarrojos de la luz solar se encuentra en este ámbito de longitud de onda, y puede alcanzar la superficie de la Tierra.

Casi todas las células bacterianas se hallan en el ámbito de tamaño del Escalón 12, con longitudes aproximadas de 3 micrómetros.

Los familiares glóbulos rojos de la sangre (que no son por completo células, puesto que carecen de una célula con núcleo), son pequeños discos de unos 7,7 micrómetros en su diámetro más largo, y de sólo 3,7 micrómetros de grosor.

ESCALÓN 13

0,000 001 metros (10^{-6} m)
1 micrómetro (10^{0} µn)

La célula más pequeña del cuerpo humano es la espermática, producida por el macho adulto. Está formada por una cabeza, que, a su vez, se halla constituida por poco más de una célula con núcleo —de hecho, sólo media célula con núcleo—, más una larga cola, cuya oscilación lo impulsa a través de un medio acuoso. Contiene el material hereditario (cromosomas), que se añade al óvulo en la fertilización. El óvulo posee otro seminúcleo, que es la contribución de la madre, con su propia e igual dotación de cromosomas, más un inicial suministro alimenticio. La cabeza de la célula espermática tiene, aproximadamente, 2 micrómetros de longitud.

Una célula de *E. coli*, la bacteria ordinaria intestinal humana más grande, mide también unos 2 micrómetros de longitud.

Las células carecen de contenido homogéneo, pero poseen unas discretas «organelas», que desarrollan ciertas funciones y que son, como es natural, más pequeñas que las células. El núcleo, que contiene el mecanismo reproductor de la célula, puede tener, normalmente, 2 micrómetros de longitud. Un mitocondrio que es la organela de producción de energía de la célula, alcanza 1,5 micrómetros de largo.

ESCALÓN 14

0,000 000 316 metros ($10^{-6,5}$ m)
316 nanómetros ($10^{2,5}$ nm)

El prefijo «nano-» procede de la voz griega «nanos», que significa «enano». Se simboliza por «n» y representa una milmillonésima (en la forma norteamericana, una billonésima parte) de la medida básica, por lo cual el «nanómetro» es una milmillonésima de metro, o una milésima de micrómetro. Antes del establecimiento de

la medición SI del sistema métrico, el nanómetro era a veces denominado «milimicrón», y aún se encuentra así algunas ocasiones, pero este uso no se admite en la actualidad.

Las células bacterianas más pequeñas fueron descubiertas en 1936 en las aguas residuales. Llamadas organismos pleuroneumoniformes, tienen un diámetro máximo de 300 nanómetros.

Este tipo de bacterias son las células de vida libre más pequeñas que existen, es decir, las células más pequeñas que contienen todo el mecanismo de la vida.

Sin embargo, hay células que no contienen toda la maquinaria de la vida, sino que deben crecer y reproducirse, parasitariamente, en el interior de unas células completas, haciendo uso de parte de la maquinaria del huésped para los propósitos del parásito.

El mayor de estos cuerpos parasitarios se llama «rickettsia», nombre que toma del médico norteamericano Howard Taylor Ricketts, quien los descubrió en 1906. Por lo general, las rickettsias causan afecciones y, en los seres humanos, enfermedades tales como el tifus y el tifus exantemático de las montañas Rocosas.

Las rickettsias pueden ser incompletas, aunque su tamaño tiende a ser mayor que el de los organismos pleuroneumoniformes de vida libre. Algunas rickettsias alcanzan los 800 nanómetros de longitud, mientras que otras no llegan a los 200 nanómetros.

Tenemos también los virus, detectados en 1898 por el botánico holandés Martinus W. Beijerinck. Los virus son también incompletos y crecen y se reproducen sólo en el interior de células completas. Causan en el hombre gran número de enfermedades: varicela, viruela, paperas, sarampión, poliomielitis, gripe, resfriado común, etcétera.

En conjunto, los virus son aún más pequeños que las rickettsias, aunque los virus más grandes, los que originan la vacuna o la enfermedad del mosaico del tabaco, por ejemplo, tienen unos 300 nanómetros de longitud. Así, los virus se superponen a las rickettsias, y ambos, a las bacterias propiamente dichas.

En lo que se refiere a las ondas electromagnéticas, la región del infrarrojo acaba en los 760 nanómetros. Ante unas longitudes de onda tan cortas como éstas, y más cortas aún, resulta afectada la retina del ojo, y entonces vemos las ondas electromagnéticas en forma de «luz».

Y, lo que es más, vemos colores diferentes según las longitudes de onda. Los colores se fusionan gradualmente entre sí, al acortarse la longitud de onda, por lo cual carece de sentido intentar establecer una línea fronteriza entre ellos.

Sin embargo, a los 700 nanómetros se observa un nítido color rojo; a los 610, naranja; a los 575, amarillo; a los 525, verde; a los 470, azul, y a los 415, violeta.

El rojo se halla en el extremo de la longitud de onda más larga del «espectro» (como fue llamada la banda de luz visible por Isaac Newton, quien, en 1666, fue el primero en producirlo y estudiarlo). Posee ondas más largas que cualquier otra forma de luz visible y, por tanto, la frecuencia más baja, es decir, el número más pequeño de ondas que se forman en un segundo. A medida que se avanza hacia las ondas más largas de los 760 nanómetros, el color rojo (muy profundo y tenue ya para entonces) se desvanece. Ésta es la razón de que las ondas aún más largas, con frecuencias todavía menores, sean llamadas «infrarrojas» (por debajo del rojo). Las frecuencias se hallan por debajo de las asociadas con la luz roja.

En el otro extremo del espectro tenemos el violeta, que se desvanece a medida que se hacen más pequeñas las longitudes de onda y mayor es la frecuencia. A los 360 nanómetros, la retina ya no queda afectada, y la luz se desvanece. Más allá de este punto se encuentran los rayos «ultravioleta» (más allá del violeta), que tienen longitudes de onda más cortas y frecuencias más altas que el violeta.

Esta banda de longitudes de onda de la luz visible atraviesa con facilidad la atmósfera y, lo que es más, exactamente en esta banda es donde alcanza su ápice la radiación procedente del Sol. Ha sido muy útil para las formas vitales, las cuales, por lo general, han desarrollado órganos sensitivos para responder a dicha sección del alcance total de la radiación electromagnética. No sólo llega hasta nosotros, sino que es la porción más rica del conjunto.

La sección de la radiación ultravioleta, con longitudes de onda desde los 380 a los 300 nanómetros, puede atravesar la atmósfera. Sin embargo, por debajo de los 300 nanómetros, la atmósfera es de nuevo opaca.

Cuando el físico sueco Anders Jonas Ångström estudió las ondas luminosas en 1868, empleó una unidad de una diezmillonésima de metro (según la nomenclatura norteamericana, una diezbillonésima). En 1905, dicha unidad se denominó «unidad ångström», simbolizada con Å. Se dice que las longitudes de onda de la luz visible abarcan desde los 3 800 a los 7 600 Å, que se encuentra aún a menudo.

Una unidad ångström es la décima parte de un nanómetro, y en la versión SI del sistema métrico, no se admiten las unidades ångström. En vez de éstas se usan los nanómetros, y las longitudes de onda de la luz visible se extienden desde los 380 a los 760 nanómetros.

Existe un gas raro, llamado «criptón», que se presenta en ciertas variedades, una de las cuales es el criptón-86. Cuando éste es calentado por medio de una corriente eléctrica, brilla con un color anaranjado a causa de su emisión de luz en una longitud de onda de 605,78 nanómetros. Ésta es la única longitud de onda emitida, y puede medirse con gran precisión. A partir de 1960, dicha longitud de onda ha sido usada como tipo para determinar la longitud exacta del metro. El metro se define como igual a 1 650 763,73 longitudes de onda de la luz anaranjada emitida por el criptón-86, en unas condiciones muy específicas.

ESCALÓN 15
0,000 000 1 metros (10^{-7} m)
100 nanómetros (10^{2} nm)

El más pequeño de los organismos pleuroneumoniformes (también llamados PPLO), posee, cuando se forma por primera vez, un diámetro de 100 nanómetros, y es la más pequeña forma libre de vida que se conoce.

El virus de la gripe tiene un diámetro de 115 nanómetros, y se parecería a una pequeña esfera.

Los cromosomas del núcleo de la célula llevan los factores hereditarios, y cada unidad de factor se denomina un «gen». Según algunas estimaciones, un gen típico tiene unos 125 nanómetros de longitud.

Todos los seres vivos tienen moléculas gigantes, que no poseen en absoluto signos vitales, dentro o fuera de las células. Las más importantes son las proteínas, y una de las mayores células de proteína tiene una longitud de 160 nanómetros.

ESCALÓN 16
0,000 000 031 6 metros ($10^{-7,5}$ m)
31,6 nanómetros ($10^{1,5}$ nm)

Aquí nos acercamos ya al límite inferior de la vida. Han quedado atrás las células, las bacterias y las rickettsias, y los únicos que aún permanecen son los virus. Un bacteriófago que parásita la pequeña célula bacteriana del *E. coli* tiene sólo 25 nanómetros de longitud, y el virus más pequeño reconocido mide unos 20 nanómetros de longitud. Se trata de la porción menor de vida, el fragmento más pequeño de materia que puede reproducirse por sí mismo.

ESCALÓN 17
0,000 000 01 metros (10^{-8} m)
10 nanómetros (10^{1} nm)

Aún nos relacionamos algo con la vida en el nivel del Escalón 17, si realizamos unas mediciones particularmente pequeñas. El virus del mosaico del tabaco posee forma de varilla. La longitud de la varilla, como he dicho antes, es de unos 300 nanómetros, mientras que su anchura es de sólo 15 nanómetros.

Se encuentran también unas organelas particularmente pequeñas en el interior de las células. Los ribosomas son las organelas a partir de las cuales se derivan las moléculas de proteína. Los ribosomas del interior de la bacteria del *E. coli* tienen unos 18 nanómetros de longitud.

ESCALÓN 18
0,000 000 003 16 metros ($10^{-8,5}$ m)
3,16 nanómetros ($10^{0,5}$ nm)

A este nivel nos enfrentamos ya con las moléculas no vivientes: las proteínas. Por ejemplo, en los glóbulos rojos de los mamíferos hay unas moléculas de proteína llamadas «hemoglobina», que captan el oxígeno cuando los glóbulos rojos pasan a través de unos pequeños vasos sanguíneos alineados en los pulmones. Al hacerlo así, la hemoglobina se convierte en oxihemoglobina, la cual libera el oxígeno al pasar a través de los pequeños vasos sanguíneos de esta línea y penetra en todos los demás tejidos corporales. De esta forma, el oxígeno es conducido desde la atmósfera a las células del cuerpo, y la vida puede continuar. La molécula individual de hemoglobina presenta una longitud de 6,8 nanómetros.

La molécula de hemoglobina es de tipo cuádruple. Está formada por cuatro cadenas de átomos, cada una de las cuales incluye un átomo de hierro. Una molécula similar en el músculo está formada por una simple cadena con un átomo de hierro. Se trata de la «mioglobina», cuyo diámetro es de 3,6 nanómetros.

ESCALÓN 19
0,000 000 001 metros (10^{-9} m)
1 nanómetro (10^{0} nm)

Las ondas electromagnéticas con una longitud de 1 nanómetro constituyen un límite inferior arbitrario de la longitud de onda en la región ultravioleta. Más allá del límite de

1 nanómetro se encuentran los rayos X, descubiertos en 1895 por el físico alemán Wilhelm Roentgen.

En cuanto a las moléculas, las hay más pequeñas que las de las ordinarias de proteína. Las moléculas de sacarosa, el azúcar corriente que ponemos al café, tienen, aproximadamente, 1 nanómetro de longitud.

ESCALÓN 20

0,000 000 000 316 metros ($10^{-9,5}$ m)
316 picómetros ($10^{2,5}$ pm)

El prefijo «pico-», que, por cierto, deriva de la palabra española «pico», en el sentido de pequeña cantidad, representa una billonésima (o trillonésima, según el sistema norteamericano) parte de la unidad básica, y se simboliza con «p». Un «picómetro» es una billonésima de metro, y se simboliza con «pm». Una unidad ångström equivale a 100 picómetros.

Con esto hemos llegado al reino de las moléculas muy pequeñas. Una molécula de glucosa, el azúcar simple que se encuentra en las uvas y en la sangre, tiene 700 picómetros de longitud. Una molécula de alanina, uno de los aminoácidos más simples, cadenas de las que están formadas las moléculas proteínicas, sólo alcanza 500 picómetros de longitud. Una molécula de dióxido de carbono tiene 300 picómetros de longitud.

Las moléculas están formadas por átomos. La glucosa consta de veinticuatro átomos (seis de carbono, doce de hidrógeno y seis de oxígeno); la alanina contiene trece átomos (tres de carbono, siete de hidrógeno, dos de oxígeno y uno de nitrógeno); el dióxido de carbono está formado por sólo tres átomos (uno de carbono y dos de oxígeno).

Algunos de los átomos más grandes pueden encontrarse, individualmente, en este ámbito. Un átomo de cesio alcanza más de 500 picómetros de longitud, y un átomo de mercurio, unos 300.

ESCALÓN 21

0,000 000 000 1 metros (10^{-10} m)
100 picómetros (10^{2} pm)

En el nivel del Escalón 21 nos encontramos con los átomos más pequeños: hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno, etcétera, todos los cuales tienen, más o menos, 100 picómetros de longitud.

ESCALÓN 22

0,000 000 000 031 6 metros ($10^{-10,5}$ m)
31,6 picómetros ($10^{1,5}$ pm)

Ya hemos dejado atrás los átomos. En lo tocante a las ondas electromagnéticas, las que tienen una longitud de onda de 31,6 picómetros se hallan aún en el ámbito de los rayos X.

ESCALÓN 23

0,000 000 000 01 metros (10^{-11} m)
10 picómetros (10^{1} pm)

Aquí, podemos establecer de nuevo, más o menos arbitrariamente, una línea fronteriza entre los rayos X y un grupo de radiación de longitudes de onda aún más cortas: los rayos gamma. Éstos constituyen todas las ondas electromagnéticas con longitudes de onda inferiores a los 10 picómetros.

ESCALÓN 24

0,000 000 000 003 16 metros ($10^{-11,5}$ m)
3,16 picómetros ($10^{0,5}$ pm)

El átomo es de naturaleza nuclear, o sea, que posee un «núcleo atómico» en su centro, núcleo pequeño en comparación con el átomo como un todo. Este núcleo se halla rodeado por un número de partículas luminosas llamadas electrones. El número de electrones varía desde 1 a más de 100, según la variedad de átomo o «elemento» implicado. Estos electrones se hallan dispuestos (para expresarlo de forma simplista) en cierto número de capas, que va desde una a siete, según el número de electrones. Cuanto mayor es el número de capas, más cerca del núcleo se hallan las capas más internas.

Imaginemos que comenzamos en el centro del núcleo y alcanzamos los 3,16 picómetros en todas direcciones, llegaremos más allá del núcleo y de las capas interiores de electrones, pero no alcanzaremos las capas exteriores.

ESCALÓN 25

0,000 000 000 001 metros (10^{-12} m)
1 picómetro (10^{0} pm)

Nos estamos deslizando hacia el núcleo atómico. A la distancia de 1 picómetro desde el mismo, sólo pueden incluirse las capas más interiores de los átomos mayores, de un modo fiable.

ESCALÓN 26

0,000 000 000 000 316 metros ($10^{-12,5}$m)
316 femtómetros ($10^{2,5}$ fm)

El prefijo «femto» representa una milbillonésima (o una cuatrillonésima, según el sistema norteamericano) de una medida básica, y se simboliza con «f». Un «femtómetro» es una milbillonésima parte de un metro, y se simboliza con «fm». El prefijo procede de la palabra danesa «femten», que significa «quince», dado que un femtómetro es 10^{-15} metros. Antes de que se establecieran los prefijos de la versión SI del sistema métrico, un femtómetro fue a veces denominado «fermi», en honor al físico italiano Enrico Fermi, que realizó un importante trabajo en física nuclear. En la actualidad ha sido eliminado.

En este escalón nos hallamos, al fin, en el ámbito del núcleo atómico. Los núcleos atómicos más grandes tienen diámetros de algo así como 630 femtómetros, y están formados por unas 250 pequeñas «partículas subatómicas», llamadas «neutrones» y «protones».

ESCALÓN 27
0,000 000 000 000 1 metros (10^{-13} m)
100 femtómetros (10^{2} fm)

El protón y neutrón individual tienen diámetros de 100 femtómetros, y con esto haremos un alto. Existen partículas que, de alguna manera, son más pequeñas que el protón y el neutrón, y algunas distancias implicadas en nuestra comprensión del Universo son más pequeñas que el diámetro de esas partículas, pero será más conveniente dejar esta materia para otras categorías de escaleras del Universo.

En realidad, en la escalera de distancias hacia abajo, hemos viajado desde la distancia del tamaño de un cuerpo ordinario, hasta las partículas más pequeñas a las que cabe atribuir un diámetro, en el sentido corriente de la palabra, y lo hemos realizado en 26 escalones, cada uno de ellos de la mitad de un orden de magnitud.

De hecho, si combinamos la escalera ascendente de distancias con la escalera descendente, podemos ir desde el diámetro del protón, en el extremo más bajo, a la circunferencia del Universo, en el extremo superior, y todo ello lo hemos llevado a cabo en 80 escalones, o 40 órdenes de magnitud.

LA ESCALERA DEL ÁREA HACIA ARRIBA

ESCALÓN 1
1 metro cuadrado (10^0 m^2)

El área de una figura plana («bidimensional») de cualquier forma, o de la superficie de una figura sólida («tridimensional»), se calcula al multiplicar una de sus longitudes por la otra.

Supongamos que tenemos un cuadrado —una figura plana de cuatro lados—, cuyos cuatro lados se unen en ángulos rectos y que poseen la misma longitud. Si cada uno es igual a 2 metros, el área será 2 metros x 2 metros, ó 4 metros cuadrados (simbolizándose el «metro cuadrado» por «m^2»).

Las áreas de las figuras que no sean cuadradas pueden calcularse de otras y más complicadas maneras, pero, invariablemente, todo se reduce al producto de una longitud por la otra, y la respuesta (si las longitudes se miden en metros), se da siempre en metros cuadrados.

Naturalmente, la situación más simple se encuentra en un cuadrado cada uno de cuyos lados mida 1 metro. El área es 1 metro x 1 metro, o un metro cuadrado. El metro cuadrado es la medida básica para el área en la versión SI del sistema métrico, y podemos empezar por ella.

Como es natural, cualquier figura puede tener un área de 1 metro cuadrado. Un triángulo rectángulo tendrá un área de 1 metro cuadrado si cada uno de sus tres lados iguales posee una longitud de 1,52 metros aproximadamente. La superficie de una esfera será de 1 metro cuadrado si el diámetro de la misma es de unos 0,564 metros de longitud.

Si deseamos hacer una aplicación más familiar del metro cuadrado, consideremos que un hombre alto y delgado tiene una superficie que se aproxima a los 2 metros cuadrados. (Naturalmente, calcular el área de algo tan irregular y complicado como la superficie del cuerpo humano, es mucho más difícil que si partimos de unas figuras geométricas regulares, pero puede efectuarse.)

En el sistema de medidas común norteamericano, la cosa más cercana al metro cuadrado es la «yarda cuadrada». Un cuadrado cada uno de cuyos lados posea una longitud de 1 yarda, tendrá un área de 1 yarda cuadrada. Puesto que la yarda equivale a 0,9144 metros, una yarda cuadrada, que es 1 yarda x 1 yarda, será igual a 0,9144 metros x 0,9144 metros, ó 0,8361 metros cuadrados (o, *grosso modo*, 5/6 de un metro cuadrado). Esto equivale a decir que 1 metro cuadrado es igual a 1,196 yardas cuadradas (o, *grosso modo*, 1 1/5 yardas cuadradas).

Tal vez resulte tedioso tener que memorizar esta conversión, y lo mejor sería no recordarla en absoluto, sino habituarse (en Estados Unidos) al empleo de los metros cuadrados.

ESCALÓN 2
10 metros cuadrados (10^1 m^2)

En la escalera de la longitud utilizamos mitades de orden de magnitud, con lo que, mientras el Escalón 1 era 1 metro, el Escalón 2 eran 3,16 metros, y así indefinidamente. En las escaleras del área vamos a trabajar con una longitud multiplicada por otra. Así, 1 x 1 = 1, 3,16 x 3,16 = 10. En otras palabras, mientras que las longitudes aumentan según la mitad de un orden de magnitud, el producto de tales longitudes, las áreas, aumentará en un orden completo de magnitud.

Por tanto, en la escalera del área avanzaremos cada vez un orden de magnitud. Tras empezar con 1 metro cuadrado en el Escalón 1, tendremos 10 metros cuadrados en el Escalón 2, y luego 100 metros cuadrados, y así de forma indefinida. Cada paso equivaldrá a diez veces el tamaño del escalón precedente.

Un dormitorio tipo de clase media en un apartamento de Nueva York (el mío, por ejemplo), tiene un área superficial de unos 10 metros cuadrados.

ESCALÓN 3
100 metros cuadrados (10^2 m^2)
1 decámetro cuadrado (10^0 dam^2)

Imaginemos un cuadrado en el que cada lado tenga 1 decámetro de longitud. El área del cuadrado es 1 decámetro x 1 decámetro = 1 decámetro cuadrado (y un decámetro cuadrado se simboliza con «dam^2»). Sin embargo, un decámetro equivale a 10 metros. Así pues, podemos calcular de la forma siguiente el área del cuadrado: 10 metros X 10 metros = 100 metros cuadrados.

De ello se sigue que mientras 1 decámetro es igual a 10 metros, 1 decámetro cuadrado equivale a 100 metros cuadrados. Cuando un prefijo métrico aumenta en una medida más pequeña de longitud por un orden de magnitud, se incrementa en una medida menor del área por dos órdenes de magnitud. Si se incrementa en una medida más pequeña de longitud de tres órdenes de magnitud, se aumenta en una medida más pequeña del área por seis órdenes de magnitud, y así indefinidamente.

A menudo, un decámetro cuadrado se define como un «área» (simbolizada por «a»). Se emplea con frecuencia como unidad de área en el sistema métrico, y puede usarse también en la versión SI.

Al pensar en el área debemos recordar que los objetos del mismo tamaño general no siempre han de tener la misma área. Por ejemplo, un objeto puede ser liso y con un área relativamente pequeña; o bien ser arrugado y ondulado y, aunque posea el mismo tamaño general, tener una área superficial mucho mayor.

Por ejemplo, los pulmones humanos son unas relativamente pequeñas bolsas llenas de aire. Sin embargo, sus superficies interiores están divididas en varios centenares de millones de bolsitas muy pequeñas, llamadas «vacuolas», cada una de ellas con una muy pequeña área superficial. No obstante, si se unen todas las áreas, la suma es mucho más elevada que si los pulmones fueran unas bolsas con una sola y lisa superficie interior.

La superficie total interior de los pulmones humanos se estima en unos 85 metros cuadrados. Comparada con esto, una pista de tenis para individuales tiene unos 195 metros cuadrados de área. Tenemos casi la mitad de una pista de tenis dentro de nuestros pulmones, lo cual es muy importante para la eficiencia con la que absorbemos

oxígeno. No podríamos vivir si tuviésemos unos pulmones con una superficie interior lisa.

Algo similar ocurre con nuestro cerebro, que posee unas células en cuya superficie se genera el pensamiento. El cerebro es una masa arrugada (con circunvoluciones), por lo cual posee una superficie mucho mayor que si fuese liso. Somos más inteligentes que los demás animales, no sólo porque nuestro cerebro es mayor, sino también porque tiene más circunvoluciones. (Sin embargo, los delfines, que tienen nuestro tamaño, poseen un cerebro que no sólo es más grande que el nuestro, sino que también presenta más circunvoluciones. Es algo que nos deja maravillados.)

ESCALÓN 4

1 000 metros cuadrados (10^3 m^2)
10 decámetros cuadrados (10^1 dam^2)

El área de juego de un campo de rugby, desde la línea de 50 yardas hasta la de 27, en cualquier dirección, tiene exactamente unos 10 decámetros cuadrados. Esto representa algo menos de la cuarta parte del campo de rugby en su totalidad. Una vez más, 10 decámetros cuadrados es casi igual en área a cuatro pistas de tenis del tamaño usado para jugar partidos de dobles.

Una arcaica medida del área, aún empleada corrientemente en Estados Unidos, es el «acre». En sus orígenes significaba la cantidad de tierra que podía ararse con una yunta de bueyes en un día, y la palabra procede de una antigua voz empleada para denominar «campo» (la voz latina para «campo» es «ager» y de ahí derivan, por ejemplo, palabras tales como «agricultura», «agricultor» y «agrícola»).

Un acre tiene 160 varas («rods») cuadradas (la vara, o «rod», norteamericana es una medida de longitud igual a 5,5 yardas). Por tanto, cada vara cuadrada es 5,5 yardas por 5,5 yardas, ó 30,25 yardas cuadradas. Por ello, un acre es igual a 160 por 30,25 ó 4 840 yardas cuadradas.

Esto significa que un acre es igual a 4 047 metros cuadrados, o algo más de 40 decámetros cuadrados. Así pues, el área del Escalón 4 de 10 decámetros cuadrados es igual a casi un cuarto de acre.

Resulta obvio decir que los acres no forman parte de la versión SI del sistema métrico.

ESCALÓN 5

10 000 metros cuadrados (10^4 m^2)
1 hectómetro cuadrado (10^0 hm^2)

Dado que un hectómetro es igual a 10 decámetros o a 100 metros, un hectómetro cuadrado será igual a 100 decámetros cuadrados, o bien 10 000 metros cuadrados.

Puesto que un hectómetro cuadrado es igual a 100 decámetros cuadrados —es decir, 100 áreas—, el hectómetro cuadrado puede denominarse «hectárea» (recuérdese que «hecto» es el prefijo métrico para significar un centenar de veces la medida indicada, aunque la «o» del prefijo se omite por razones de eufonía). «Hectárea» se simboliza con «ha». La hectárea, en los lugares en que está en vigor el sistema métrico, se emplea con mucha mayor frecuencia que el área como medida.

Un hectómetro cuadrado, o hectárea, es casi dos veces el área de un campo de rugby, y equivale a casi 2,5 acres.

La manzana en la que se encuentra el edificio de mi casa de apartamentos es un rectángulo. Tiene 213 metros de longitud en sentido Este y Oeste y 80 metros en dirección Norte y Sur. Por tanto, el área de la manzana es de 213 por 80 metros, ó 17 040 metros cuadrados. Esto equivale a 1,7 hectómetros cuadrados (o casi siete acres).

ESCALÓN 6
100 000 metros cuadrados (10^5 m^2)
10 hectómetros cuadrados (10^1 hm^2)

Aquí alcanzamos el nivel de las islas notables. Durante 51 años, a partir de 1892 y hasta 1943, la estación más importante de inmigración para los extranjeros que entraban en Estados Unidos, con intención de vivir permanentemente en el país, fue Ellis Island: Se encuentra en la bahía de Nueva York, a 1,7 kilómetros al sudoeste de la isla de Manhattan. Millones de personas entraron por allí, y, entre ellas, en febrero de 1923, se encontraba un niñito de tres años llamado Isaac Asimov.

El área de la isla Ellis es de 11 hectáreas (ó 27 acres).

ESCALÓN 7
1 000 000 de metros cuadrados (10^6 m^2)
1 kilómetro cuadrado (10^0 km^2)

Un kilómetro cuadrado es igual a 100 hectómetros cuadrados, ó 100 hectáreas (ó 247 acres). El kilómetro cuadrado es la medida más corriente para las áreas geográficas en todo el mundo. Sólo en Estados Unidos, la medida común de las áreas es la «milla cuadrada». Dado que un kilómetro es igual a 0,6214 millas, un kilómetro cuadrado equivale a 0,6214 millas por 0,6214 millas, ó 0,3861 millas cuadradas. En otras palabras: un kilómetro cuadrado es igual a poco más de 3/8 de milla cuadrada, mientras que una milla cuadrada es igual a casi 2 2/3 kilómetros cuadrados. En otra forma de planteamiento tenemos que 8 kilómetros cuadrados son casi igual a 3 millas cuadradas. Sin embargo, la mejor manera de hacerle frente, en Estados Unidos, consiste en aprender a tratar con kilómetros cuadrados y olvidarse de las millas cuadradas.

El Estado independiente más pequeño del mundo es el Estado de la Ciudad del Vaticano, cuyo soberano es el Papa; tiene una población de unas 1 000 personas. Su área es de 44 hectáreas, sólo cuatro veces el tamaño de la isla Ellis, ó 0,44 kilómetros cuadrados. Se encuentra en la orilla occidental del río Tíber, completamente dentro de la ciudad de Roma.

Le sigue en tamaño Mónaco, en las riberas del Mediterráneo, cerca del extremo sudoriental de Francia. Su población es de 25 000 habitantes, y tiene un área de 1,5 kilómetros cuadrados, lo cual equivale a 3 1/2 veces la Ciudad del Vaticano.

Central Park, en Manhattan, tiene un área de 3,4 kilómetros cuadrados. Por tanto, es 7,7 veces el área de la Ciudad del Vaticano y 2 1/4 veces el área de Mónaco. (Cuando la actriz norteamericana Grace Kelly se casó con el príncipe Rainiero III de Mónaco, en 1956, el acontecimiento constituyó tal romance para los periódicos norteamericanos, que el príncipe fue tratado como si fuese el gobernante de un extenso reino. Cuando yo decía a mis amigos que Mónaco tenía una extensión equivalente a la mitad de Central

Park, sus expresiones eran más de lástima que de duda. Sospechaban de mi integridad mental.)

ESCALÓN 8

10 000 000 de metros cuadrados (10^7 m^2)
10 kilómetros cuadrados (10^1 km^2)

Nos encontramos aún en el reino de las pequeñas regiones geográficas.

Gibraltar no es una nación independiente; constituye una península en la ribera meridional de España, cerca del estrecho de Gibraltar, y es uno de los últimos restos coloniales del hasta hace muy poco vasto Imperio británico. Fue arrebatado por los ingleses a los españoles en 1704, durante la guerra de Sucesión, y desde entonces ha sido retenido por los británicos. Tiene una población de 30 000 habitantes y un área de unos 5,8 kilómetros cuadrados, ó 1,7 veces el área de Central Park.

En el lado superior del Escalón 8 se encuentra Macao, último residuo del otrora enorme Imperio portugués. Se halla ubicada en el puerto de Cantón, en China, exactamente frente a la bahía de Hong Kong, y pertenece a Portugal desde 1557. Tiene una población de 250 000 habitantes y un área de 15 kilómetros cuadrados, o sea, 4 1/2 veces la de Central Park.

ESCALÓN 9

100 000 000 de metros cuadrados (10^8 m^2)
100 kilómetros cuadrados (10^2 km^2)

La isla de Manhattan, con una población de 1 500 000 habitantes, tiene un área de 57 kilómetros cuadrados, casi cuatro veces el área de Macao y 16 3/4 veces la de Central Park. Es el más pequeño de los cinco distritos que forman la ciudad de Nueva York y, en área, queda más bien por debajo del ámbito del Escalón 9.

El siguiente distrito más pequeño, el Bronx, también con una población de 1 500 000 habitantes, se encuentra casi exactamente en el estadio del Escalón 9, con un área de 109 kilómetros cuadrados, dos veces la de Manhattan.

Entre las regiones independientes tenemos San Marino, un pequeño Estado en la Italia Central, cerca del mar Adriático. Conserva su independencia desde hace 15 siglos, y tal vez sea la república más antigua del mundo. Posee una población de 20 000 habitantes y un área de 61 kilómetros cuadrados, algo más que la de Manhattan.

Liechtenstein es un principado independiente situado entre Austria y Suiza, con una población de 25 000 habitantes y un área de 157 kilómetros cuadrados, tres veces la de Manhattan.

ESCALÓN 10

1 000 000 000 de metros cuadrados (10^9 m^2)
1 000 kilómetros cuadrados (10^3 km^2)

Los cinco distritos de la ciudad de Nueva York *(boroughs)* tienen, en conjunto, una población de unos 7 000 000 de habitantes y un área de 945 kilómetros cuadrados, exactamente en el ámbito del Escalón 10.

La ciudad de Nueva York es la urbe más populosa de Estados Unidos, pero no la de mayor área. Entre otras ciudades de población superior al millón de habitantes, Los Ángeles, con casi 3 000 000 tiene un área de 1 202 kilómetros cuadrados; y el área de Houston, con una población de 1 500 000 habitantes, es de 1 401 kilómetros cuadrados.

Dejando aparte esas ciudades norteamericanas, podemos considerar también Hong Kong, otro resto del Imperio británico. Ubicado frente a Macao, en el puerto de Cantón, tiene una población de 4,5 millones y un área de 1 045 kilómetros cuadrados. Es sólo ligeramente superior a la ciudad de Nueva York.

En este estadio hemos de dejar atrás a las ciudades para dar entrada a los cuerpos astronómicos. Los hay de todos los tamaños, y muchísimos de ellos tienen unas áreas inferiores a un metro cuadrado. Sin embargo, entre esos cuerpos lo suficientemente importantes como para tener un nombre, nos encontramos con el asteroide Eros, rozador de la Tierra; en forma de ladrillo, tiene un área superficial de 550 kilómetros cuadrados, la mitad de Los Ángeles. También tenemos a Fobos, el mayor de los dos satélites de Marte, con un área superficial de unos 1 500 kilómetros cuadrados, o, exactamente, algo más del área de Houston.

ESCALÓN 11
10 000 000 000 de metros cuadrados (10^{10} m^2)
10 000 kilómetros cuadrados (10^4 km^2)

Con Norteamérica entramos en el reino de los Estados y territorios. Hemos dejado muy atrás Rhode Island, el Estado más pequeño, con una población de 950 000 habitantes y un área de 3 140 kilómetros cuadrados (aproximadamente dos veces la de la ciudad de Houston); y Delaware con una población de 600 000 habitantes y un área de 5 325 kilómetros cuadrados.

Ahora nos trasladamos a Connecticut, el tercer Estado más pequeño, con una población de 3 100 000 habitantes y un área de 12 970 kilómetros cuadrados el cual se encuentra en el extremo superior del ámbito del Escalón 11. Puerto Rico, con una población de 3 300 000 habitantes y un área de 8 890 kilómetros cuadrados, se halla en el extremo inferior.

Ya fuera de Estados Unidos, podemos considerar la isla de Chipre, en el Mediterráneo oriental (su tercio de la parte Norte fue ocupado por Turquía en 1974). Tiene una población de 635 000 habitantes y un área de 9 251 kilómetros cuadrados, tres veces la de Rhode Island.

La isla independiente de Jamaica, en las Indias Occidentales, tiene una población de 2 300 000 habitantes y un área de 11 422 kilómetros cuadrados, casi la de Connecticut. Líbano, que se halla en la orilla asiática del Mediterráneo oriental, exactamente al norte de Israel, tiene un área de 10 360 kilómetros cuadrados.

ESCALÓN 12
100 000 000 000 de metros cuadrados (10^{11} m^2)
100 000 kilómetros cuadrados (10^5 km^2)

Nos encontramos ahora en la región de los Estados de tamaño medio. Ohio, con una población de 10 800 000 habitantes, posee un área de 106 720 kilómetros cuadrados; mientras que, entre las naciones independientes, Islandia, con una población de 235 000 habitantes, tiene un área de 102 950 kilómetros cuadrados. Ambos se encuentran muy

cerca del nivel del Escalón 12. En el aspecto exterior nos hallamos en el ámbito del área superficial de pequeños (pero no diminutos) satélites. Himalia, el mayor de los satélites exteriores de Júpiter, posee un área superficial de 90 790 kilómetros cuadrados, que es casi igual al área de la nación europea de Hungría.

ESCALÓN 13
1 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{12} m^2)
1 megámetro cuadrado (10^0 Mm^2)

Dado que un megámetro es igual a 1 000 kilómetros, un megámetro cuadrado equivaldrá a 1 000 000 de kilómetros cuadrados, lo mismo que 1 kilómetro cuadrado equivale a 1 000 000 de metros cuadrados.

En el nivel del megámetro cuadrado (Escalón 13), las áreas geográficas son ya muy grandes. Incluso Texas queda por debajo. Con una población de 14 200 000 habitantes, tiene un área de sólo 0,692 megámetros cuadrados. Alaska, el mayor Estado norteamericano, cuenta con una población de 400 000 habitantes y un área de 1,518 megámetros cuadrados. Es el único Estado norteamericano que se halla por encima del nivel del megámetro cuadrado.

Ya fuera de Estados Unidos tenemos Egipto, que, con una población de 43 000 000 de habitantes y un área de 1,000 megámetros cuadrados, alcanza el nivel virtualmente exacto.

En el espacio. Encélado, uno de los satélites pequeños de Saturno, tiene un área superficial de 0,785 megámetros cuadrados, algo mayor que el área de Texas. Palas, el segundo mayor asteroide, posee un área superficial de 0,985 megámetros cuadrados, casi igual a la superficie de Egipto.

ESCALÓN 14
10 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{13} m^2)
10 megámetros cuadrados (10^1 Mm^2)

En este estadio ya sólo caben las naciones más grandes. Estados Unidos, con una población de 230 000 000 de habitantes, tiene un área de 9,36 megámetros cuadrados, ligeramente por debajo del nivel del Escalón 14; China, con una población de casi 1 000 000 000 de habitantes y un área de 9,6 megámetros cuadrados, y Canadá, con una población de 24 000 000 de habitantes y un área de 9,97 megámetros, se acercan más. Sólo la Unión Soviética, con una población de 268 000 000 de habitantes y un área de 22,3 megámetros cuadrados, queda por encima (y bastante por encima) del nivel del Escalón 14.

En lo que se refiere al espacio exterior, Ceres, el asteroide más grande, queda algo corto, puesto que su área superficial es de sólo 3,5 megámetros cuadrados, tres octavos del área de Estados Unidos.

De todos modos, no debemos subestimar los asteroides.

Los astrónomos sugieren que puede haber hasta 100 000 asteroides. Supongamos que sea así, y que cada uno tenga 4 kilómetros de diámetro. Habría tanto material en esos 100 000 asteroides como en un solo asteroide de 185 kilómetros de diámetro. Dicho asteroide tendría un área superficial de 107 000 kilómetros cuadrados. Cada uno de los cien mil asteroides, de 4 kilómetros de diámetro, poseería un área superficial de 50

kilómetros cuadrados, por lo que el área superficial de todos juntos alcanzaría los 5 000 000 de kilómetros cuadrados, o 5 megámetros cuadrados.

En otras palabras: la misma cantidad de material, dividida en porciones comparativamente pequeñas, tiene una mayor área superficial que si se tratase de un objeto único. Es el mismo principio de divisiones y subdivisiones que da a los pulmones humanos una enorme superficie interior. Por dicha razón, los entusiastas del espacio se preguntan a veces si los asteroides no representarán algún día un espacio importante vital para los seres humanos.

Rea, el segundo satélite mayor de Saturno, es un *único* objeto astronómico con un área superficial que se aproxima al nivel del Escalón 14. Su área principal es de 7,35 megámetros cuadrados, casi igual a la de Australia.

ESCALÓN 15
100 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{14} m^2)
100 megámetros cuadrados (10^2 Mm^2)

Hasta todo un continente puede no llegar al nivel del área del Escalón 15. Asia, el continente más grande, posee un área de 44 megámetros cuadrados, lo cual es el doble de la de la Unión Soviética, pero es inferior a la mitad del nivel del Escalón 15.

Asia, África y Europa unidas constituyen la «Isla Mundial». Son el fragmento mayor de tierra del mundo, y ninguna de las partes está separada de otra por una considerable faja de agua.

Asia y Europa están unidas a lo largo de la línea de los Urales, y se consideran continentes separados, sólo por el hecho de que la civilización se inició en el Mediterráneo oriental, donde, al poseer un horizonte limitado, Asia y Europa parecían separadas por los mares Egeo y Negro. «Eurasia» es un término geográfico más adecuado. En cuanto a África, está unida a Asia por un puente terrestre en Suez.

La Isla Mundial tiene un área aproximada de 85 megámetros cuadrados. Si añadimos Australia y todas las islas de las orillas de la Isla Mundial, tendremos unos 4 100 000 000 de personas esparcidas por un área muy cercana a los 100 megámetros cuadrados. En resumen, habría que incluir toda la tierra del Hemisferio oriental para llegar al nivel del Escalón 15. La superficie oceánica rebasa ampliamente la superficie firme de la Tierra. En efecto, el océano ocupa el 70 por 100 de la superficie total de la Tierra. Por ejemplo, el océano Atlántico, con un área de 82 megámetros cuadrados, está bastante próximo al área de la Isla Mundial, y se trata sólo del segundo mayor océano.

El Pacífico, que es el mayor, tiene un área superficial de 181 megámetros cuadrados, y es considerablemente más grande, por sí solo, que toda el área firme de la Tierra. Es el único rasgo singular de la superficie de la Tierra que mejora el nivel de área del Escalón 15.

En cuanto al espacio, estamos ya más allá de los satélites. El área de la superficie total de nuestra Luna es sólo de 38 megámetros, o sea, sólo los siete octavos de la de Asia. El satélite más grande, Ganimedes, posee un área superficial de 87 megámetros, lo cual rebasa ligeramente la del océano Atlántico.

Sin embargo, Marte, el segundo planeta más pequeño, tiene un área superficial total de 145 megámetros cuadrados, aproximadamente los cuatro quintos de la del océano Pacífico, y muy por encima del nivel alcanzado por el Escalón 15.

ESCALÓN 16
1 000 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{15} m^2)
1 000 megámetros cuadrados (10^3 Mm^2)

A este nivel, en que hemos alcanzado un área en el ámbito de los mil billones de metros cuadrados, hemos dejado atrás todo nuestro planeta. En total, la Tierra tiene un área superficial de 520 megámetros cuadrados, o poco más de la mitad del nivel del Escalón 16.

Venus, un mundo ligeramente menor, tiene un área superficial de 460 megámetros cuadrados. Si añadimos la Luna a esos dos planetas, el área superficial total de los tres cuerpos llegará a los 1 018 megámetros cuadrados y, de este modo, se alcanzará el área del nivel del Escalón 16.

ESCALÓN 17
10 000 000 000 000 000 de metros cuadrados ($10^{16}m^2$)
10 000 megámetros cuadrados (10^4 Mm^2)

El área de la superficie de todos los planetas más pequeños, además de toda la de los satélites y asteroides a la vez, tal vez no rebase mucho los 2 000 megámetros cuadrados, por lo cual hemos de dirigir nuestra atención a los cuatro gigantes planetarios.

Éstos no poseen un área superficial de la misma forma que los cuerpos más pequeños del Sistema Solar; es decir, no tienen una superficie sólida que conozcamos y, si la tienen, no poseemos la menor idea de su tamaño. Lo que vemos como superficie es, en realidad, la parte superior de una capa nubosa, y podemos, si lo deseamos, considerar el área superficial de esa capa de nubes.

El área de la superficie total de Neptuno (el menor de los planetas gigantes) es de 7 000 megámetros cuadrados, y el de Urano, de 8 600 megámetros cuadrados. Con esto nos aproximamos al nivel del Escalón 17.

ESCALÓN 18
100 000 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{17} m^2)
100 000 megámetros cuadrados (10^5 Mm^2)

Al llegar aquí ya no basta con ningún planeta. Incluso Júpiter, el planeta mayor, posee un área total superficial (junto con su capa de nubes) de 65 000 megámetros cuadrados, muy por debajo del nivel de área del Escalón 18.

Sin embargo, el área superficial total de los dos planetas mayores, Júpiter y Saturno, tomados en conjunto, es de 110 000 megámetros cuadrados. Si se añade a esto la superficie de todos los restantes cuerpos conocidos no luminosos del Sistema Solar, la cifra puede subir hasta los 130 000 megámetros cuadrados. Así, pues, con el nivel del Escalón 18 rebasamos el Sistema Solar (excluyendo el Sol), y si queremos alcanzar niveles superiores, tendremos que proyectarnos más allá de los planetas y llegar a las estrellas.

Algunas estrellas son considerablemente más pequeñas que los planetas más grandes, y de estas «estrellas condensadas» trataremos más adelante. Entre las estrellas «normales», la mayor parte son más pequeñas que el Sol. Las estrellas más pequeñas son las «enanas rojas», y la estrella Luyten 728-8 B es casi tan pequeña como una enana roja. Su diámetro debe de ser tan pequeño como 180 000 kilómetros, y su área

superficial alcanzará unos 100 000 megámetros cuadrados, que es, exactamente, el nivel de área del Escalón 18.

ESCALÓN 19

1 000 000 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{18} m^2)
1 gigámetro cuadrado (10^0 Gm^2)

Un millón de megámetros cuadrados equivale a 1 gigámetro cuadrado, que es igual a un trillón de metros cuadrados. Aquí hemos rebasado ya las enanas rojas. Debemos seguir hacia las estrellas que se encuentran más allá de las enanas rojas, pero que, sin embargo, son aún más pequeñas que el Sol.

Alfa del Centauro B, la más débil de las dos estrellas que constituyen Alfa del Centauro, tiene un diámetro de unos 973 megámetros y un área superficial de 3 gigámetros cuadrados, lo cual la sitúa bastante por encima del nivel del área del Escalón 19.

ESCALÓN 20

10 000 000 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{19} m^2)
10 gigámetros cuadrados (10^1 Gm^2)

En el nivel de área del Escalón 20 hemos rebasado el Sol, el cual, con un diámetro de 1,4 gigámetros, posee un área superficial de 6 gigámetros cuadrados (casi 50 veces la superficie total de área de todos los demás cuerpos importantes del Sistema Solar considerados juntos).

Para llegar al nivel del Escalón 20 debemos seguir hacia las estrellas mayores que el Sol. Proción tiene un diámetro de 1,7 gigámetros, y su área superficial alcanza, aproximadamente, los 9 gigámetros cuadrados.

ESCALÓN 21

100 000 000 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{20} m^2)
100 gigámetros cuadrados (10^2 Gm^2)

Una estrella aún mayor, Achernar, tiene un diámetro de 5,5 gigámetros y un área superficial de 95 gigámetros cuadrados, o sea, casi 16 veces la de nuestro Sol, y se encuentra muy próxima al nivel de área del Escalón 21.

ESCALÓN 22

l 000 000 000 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{21} m^2)
1 000 gigámetros cuadrados (10^3 Gm^2)

En el nivel del Escalón 22 consideramos ya los mil trillones de metros cuadrados, y empezamos a aproximarnos al nivel superior de las estrellas normales. Las más grandes de las mismas tienen diámetros de hasta 28 gigámetros y áreas superficiales de unos 2 500 gigámetros cuadrados, sustancialmente por encima del nivel del Escalón 22 y más de 400 veces el área superficial de nuestro Sol.

ESCALÓN 23
10 000 000 000 000 000 000 000 de metros cuadrado (10^{22} m^2)
10 000 gigámetros cuadrados (10^4 Gm^2)

Ahora debemos avanzar hacia las estrellas anormalmente grandes, las «gigantes rojas», las cuales, al igual que las estrellas condensadas, que son anormalmente pequeñas, se presentan en las postrimerías del ciclo evolutivo vital de las estrellas. La estrella más brillante, Arturo, una de las más pequeñas de las gigantes rojas, con un diámetro de 37 gigámetros, tiene un área de 17 000 gigámetros cuadrados.

ESCALÓN 24
100 000 000 000 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{23} m^2)
100 000 gigámetros cuadrados (10^5 Gm^2)

La gigante roja Beta de Pegaso tiene un diámetro de 150 gigámetros. Si estuviese en el lugar del Sol, su hinchada estructura llevaría su superficie basta más allá de la órbita de Mercurio. Su área superficial sería de 280 000 gigámetros cuadrados, mucho más allá del nivel de área del Escalón 24.

ESCALÓN 25
1 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{24} m^2)
1 terámetro cuadrado (10^0 Tm^2)

Un millón de gigámetros cuadrados equivale a un terámetro cuadrado (y a un cuatrillón de metros cuadrados).

Antares, la brillante estrella roja de la constelación del Escorpión, es una enorme gigante roja con un diámetro de 550 gigámetros. Si estuviese colocada en el lugar del Sol, alcanzaría hasta más allá de la órbita de Marte. Su área superficial es de 3,8 terámetros cuadrados, sustancialmente por encima del nivel de área del Escalón 25.

ESCALÓN 26
10 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{25} m^2)
10 terámetros cuadrados (10^1 Tm^2)

Nos estamos aproximando a la más grande de las gigantes rojas. Betelgeuse, la brillante estrella roja de la constelación de Orión, luce intermitentemente. Su diámetro se expansiona a veces hasta alcanzar una anchura de 1,1 terámetros. En el lugar del Sol, la superficie de Betelgeuse alcanzaría hasta la mitad de camino entre Júpiter y Saturno, cuando la estrella se hallase en completa expansión. Su área superficial sería entonces de 15 terámetros cuadrados.

ESCALÓN 27
100 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cuadrados (10^{26} m^2)
100 terámetros cuadrados (10^2 Tm^2)

Se ha estimado que la gigante roja más grande es Épsilon del Auriga B. Su diámetro es de 2,8 terámetros, casi tres veces el de Betelgeuse en su mayor extensión. En el lugar

del Sol, su superficie llegaría hasta la órbita de Urano, y su área superficial, de 100 terámetros cuadrados, estaría, exactamente, en el nivel del área del Escalón 27.

Así, pues, en 26 escalones, que cubren 26 órdenes de magnitud, hemos ido desde el metro cuadrado, la mitad del área superficial del cuerpo de un ser humano adulto del sexo masculino, alto y delgado, hasta la inmensa área superficial de la mayor gigante roja.

El seguir delante requeriría añadir las áreas superficiales de las diversas estrellas de un enjambre globular, una galaxia, un enjambre galáctico y el Universo. Una estimación *grosso modo* nos llevaría a suponer que el área total superficial de todas las estrellas del Universo estaría en torno a los 10^{40} metros cuadrados, lo cual equivaldría a mil billones de estrellas del tamaño de Épsilon del Auriga B. No obstante, carecería de valor abrirse paso a través de treinta órdenes más de magnitud, puesto que podremos sobrepasar este nivel con mayor utilidad al elaborar la escalera del volumen y de la masa, lo cual haremos más adelante.

LA ESCALERA DEL ÁREA HACIA ABAJO

ESCALÓN 1
1 metro cuadrado (10^0 m^2)

Volvamos de nuevo al metro cuadrado como preparación para bajar por la escalera del área tantos peldaños como demuestren ser de utilidad, tomando un orden de magnitud en cada escalón, como hicimos en el camino hacia arriba.

Un metro cuadrado es una unidad que parece adaptarse al ámbito humano. Por ejemplo, el escritorio en que trabajo tiene una superficie rectangular que —al haber sido fabricado en Estados Unidos— posee unas medidas adecuadas a las unidades comunes norteamericanas. Tiene 30 por 60 pulgadas. Es decir, 0,762 por 1,524 metros, lo cual nos da un área superficial de 1,16 metros cuadrados.

El colchón tipo en el que puede dormir confortablemente una sola persona, en un hogar de clase media norteamericano, tiene 36 por 75 pulgadas, lo cual representa un área de 1,75 metros cuadrados.

Un área entre uno y dos metros cuadrados es, pues, el tamaño adecuado para poder desarrollar las actividades básicas de la vida.

ESCALÓN 2
0,1 metros cuadrados (10^{-1} m^2)
10 decímetros cuadrados (10^1 dm^2)

Indudablemente, ya nos hemos acostumbrado a la forma en que las unidades métricas se acoplan entre sí en números redondos. Esperamos que 1 metro cuadrado sea igual a 100 decímetros cuadrados y, por tanto, que 10 decímetros cuadrados equivalgan a 0,1 metros cuadrados.

Por otra parte, en las unidades corrientes norteamericanas, se necesitan 3 pies para formar una yarda y 12 pulgadas para constituir un pie. Esto significa que un cuadrado en el que cada uno de sus lados tenga 1 yarda de longitud, tiene también una longitud de 3 pies. El área de este cuadrado es, o bien 1 yarda x 1 yarda, o bien 3 pies x 3 pies, por lo cual equivale ya sea a 1 yarda cuadrada, ya a 9 pies cuadrados.

En otras palabras: si 1 yarda es igual a 3 pies, 1 yarda cuadrada equivale a 3 x 3 ó 9 pies cuadrados. Siguiendo un razonamiento similar, 1 pie cuadrado es igual a 12 x 12 ó 144 pulgadas cuadradas, y 1 yarda cuadrada equivale a 12 x 3 x 12 x 3, o bien 1 296 pulgadas cuadradas.

Veamos ahora: ¿Cuántos norteamericanos podrán decir, sin pensarlo, que 144 pulgadas cuadradas forman un pie cuadrado, o que 1 296 pulgadas cuadradas equivalen a una yarda cuadrada, o que 9 pies cuadrados constituyen una yarda cuadrada? Virtualmente, estas cifras nunca se recuerdan, aunque se hayan aprendido en la escuela...

Por tanto, cuando los norteamericanos ponen objeciones al sistema métrico por considerarlo «extraño», y afirman que prefieren las mediciones «familiares» a las que

están acostumbrados, en realidad no son del todo conscientes de la auténtica situación. Las llamadas medidas familiares resultan poco familiares para casi todo el mundo, lo cual se debe a su desigualdad e irregularidad. Ésta es una de las principales razones del por qué las mediciones corrientes deberían sustituirse por el sistema métrico.

En este aspecto, una yarda cuadrada es igual a 0,8361 metros cuadrados, y, dado que un pie cuadrado es igual a 1/9 de yarda cuadrada, equivale a 0,0929 metros cuadrados, o a 9,29 decímetros cuadrados. En otras palabras: la medición de áreas del Escalón 2 hacia abajo nos sitúa directamente en el ámbito del pie cuadrado.

En Estados Unidos, una hoja corriente para escribir a máquina es de 8 1/2 por 11 pulgadas. Tiene un área aproximada de 6 decímetros cuadrados. El sobre corriente tipo manila empleado para un papel de escribir de este tamaño, es de 9 por 12 pulgadas, o aproximadamente, de 7 decímetros cuadrados de área. El sobre manila del siguiente tamaño mayor, como se vende corrientemente en las papelerías norteamericanas, es de 10 por 13 pulgadas, u 8,4 decímetros cuadrados de área. Yo tengo dos talonarios de cheques, el mayor de los cuales es de 9 3/4 por 14 pulgadas, ó de un área de 8,8 decímetros cuadrados. Mi diccionario no abreviado, mide 12 por 22 pulgadas, o un área de 17 decímetros cuadrados.

Estos objetos familiares se hallan a horcajadas del Escalón 2 (hacia abajo) de la medición del área.

ESCALÓN 3
0,01 metros cuadrados (10^{-2} m^2)
1 decímetro cuadrado (10^0 dm^2)

Los cheques que extiendo para pagar mis facturas son de dos clases. Los que pertenecen a la empresa de la que soy presidente («Nightfall, Inc.») son unos rectángulos de 3 por 8 1/4 pulgadas, y con un área de 1,6 decímetros cuadrados exactamente. Sin embargo, mis cheques personales son de 2 3/4 por 6 pulgadas, y su área equivale a 1,06 decímetros cuadrados.

Los sobres corrientes que empleo para mi correo personal miden 3 5/8 por 6 1/2 pulgadas, o, aproximadamente, 1,5 decímetros cuadrados de área. Las tarjetas postales que se venden en las oficinas de Correos norteamericanas miden 3 1/2 por 5 1/2 pulgadas, es decir, con un área de 1,24 decímetros cuadrados.

Las fichas que uso para preparar los índices de mis libros tienen 3 por 5 pulgadas, o un área de 0,97 decímetros cuadrados.

ESCALÓN 4
0,001 metros cuadrados (10^{-3} m^2)
10 centímetros cuadrados (10^1 cm^2)

A este nivel nos estamos aproximando al ámbito de la pulgada cuadrada. Una pulgada equivale a 2,54 centímetros, por lo que una pulgada cuadrada será igual a 2,54 x 2,54 es decir, 6,54 centímetros cuadrados. Por tanto, 10 centímetros cuadrados equivalen a 1,55 pulgadas cuadradas.

El sello postal aéreo de 40 centavos, vendido corrientemente por la Oficina de Correos de Estados Unidos, y que representa a Philip Mazzei (un italoamericano que sirvió como agente norteamericano durante la guerra de la Revolución), es un

rectángulo de 1 por 1 3/5 pulgadas de tamaño y con un área de casi exactamente 10 centímetros cuadrados.

El sello corriente de 20 centavos, empleado para el Correo interior en Norteamérica, tiene un área de unos 5,5 centímetros cuadrados, mientras que las etiquetas de remitente que pego en mis cartas tienen un área de unos 6,6 centímetros cuadrados (sólo algo más de una pulgada cuadrada).

ESCALÓN 5

0,000 1 metros cuadrados (10^{-4} m^2)
1 centímetro cuadrado (10^0 cm^2)

Los clips corrientes para papel que empleo tienen unos 3 centímetros de longitud y 0,7 centímetros de anchura. El área comprendida por la porción curvada del alambre es de 2 centímetros cuadrados aproximadamente.

El bolígrafo que empleo con mayor frecuencia tiene casi 1 centímetro de anchura en su parte más amplia. Si se cortara en dos partes por su punto más ancho, el área de la sección en cruz circular estaría por debajo de los 0,8 centímetros cuadrados.

ESCALÓN 6

0,000 01 metros cuadrados (10^{-5} m^2)
10 milímetros cuadrados (10^1 mm^2)

Una palabra de tres letras pulsada en mi máquina de escribir o impresa por mi procesador de palabras —una voz como «pie»— ocuparía un área de unos 10 milímetros cuadrados.

ESCALÓN 7

0,000 001 metros cuadrados (10^{-6} m^2)
1 milímetro cuadrado (10^0 mm^2)

La letra «o», en mi máquina de escribir, tiene un área de unos 1,8 milímetros cuadrados.

ESCALÓN 8

0,000 000 1 metros cuadrados (10^{-7} m^2)
100 000 micrómetros cuadrados (10^5 µm^2)

La señal del punto en mi máquina de escribir ocupa un área de 0,2 milímetros cuadrados, o, aproximadamente, 200 000 micrómetros cuadrados.

Al llegar aquí debo detener la progresión descendente. Nos estamos aproximando al límite de lo visible, pasado el cual existe poco que podamos señalar más allá de lo que ya hemos hallado en los peldaños descendentes de la escalera de la longitud.

De todos modos, si añadimos 7 escalones a los ya tratados en el sentido ascendente desde el metro cuadrado, en total nos habremos movido en 33 escalones, con 33 órdenes de magnitud, que han ido desde el área del punto ortográfico al final de una frase, hasta el área de la superficie de la mayor gigante roja.

LA ESCALERA DEL VOLUMEN HACIA ARRIBA

ESCALÓN 1
1 metro cúbico (10^0 m^3)

Un volumen se obtiene multiplicando una longitud por otra longitud y por otra longitud.

Por ejemplo, supongamos que tenemos un cubo cada uno de cuyos lados mide exactamente un metro de longitud. El volumen (es decir, el espacio que contiene) es de 1 metro x 1 metro x 1 metro, o 1 metro cúbico, que podemos simbolizar con 1 m^3.

Pero, ¿qué sucedería si tuviésemos un cubo cada uno de cuyos lados fuese de 2 metros de longitud? El volumen de dicho cubo sería 2 metros x 2 metros x 2 metros, u 8 metros cúbicos. Vemos, pues, que cuando la longitud del lado aumenta dos veces, el volumen aumenta ocho. Por el mismo razonamiento, si cada lado del cubo fuese de 10 metros, el volumen sería de 1 000 metros cúbicos. En general, se dice que el volumen de una serie de objetos similares es proporcional al cubo de la longitud de un lado particular.

El metro cúbico es la unidad básica de volumen en la versión SI del sistema métrico, y aquí, una vez más, los números redondos son la regla. Así, 1 metro cúbico es igual a 1 000 decímetros cúbicos; 1 kilómetro cúbico, a 1 000 000 000 de metros cúbicos, etcétera.

En el sistema norteamericano mediríamos el lado de un cubo en pulgadas, pies o yardas, y, por lo tanto, hablaríamos de «pulgadas cúbicas», «pies cúbicos» o «yardas cúbicas».

Dado que 1 pie es igual a 12 pulgadas, 1 pie cúbico será igual a 12 x 12 x 12, ó 1 728 pulgadas cúbicas. Y puesto que 1 yarda equivale a 3 pies, o a 36 pulgadas, 1 yarda cúbica es igual a 3 x 3 x 3, ó 27 pies cúbicos; y también a 36 x 36 x 36, ó 46 656 pulgadas cúbicas. Una vez más, puede decirse que es muy bajo el número de norteamericanos que pueda memorizar semejantes cifras, o cualesquiera otras de este tipo que necesite.

Un metro equivale a 1,094 yardas; por tanto, 1 metro cúbico es igual a 1,094 x 1,094 x 1,094, o, aproximadamente, 1,31 ó 1 1/3 yardas cúbicas. A la inversa, una yarda cúbica es igual a unos 3/4 de metro cúbico. (Además, 1 metro cúbico es aproximadamente igual a 35 1/3 pies cúbicos y a unas 61 000 pulgadas cúbicas.)

Junto a estas medidas de volumen en pulgadas cúbicas, pies cúbicos o yardas cúbicas, existen otras que incluso son más familiares para el norteamericano medio, o, por lo menos, así lo cree éste.

Tenemos, por ejemplo, los «bushels», cada uno de los cuales equivale a 4 «pecks» (o celemines), y cada «peck» contiene 8 «dry quarts». Estas medidas (y otras) se emplean para describir los volúmenes de materiales áridos, tales como el grano. Otra serie de medidas se usa para líquidos como el agua o la leche. Así, por ejemplo, los «galones», cada uno de los cuales consta de 4 «liquid quarts», cada uno de los cuales contiene a su vez 2 «liquid pints» (o pintas), cada una de ellas 4 «gills» (cuarto de pinta).

No debe olvidarse que un «dry quart» (o cuarto para áridos) no es lo mismo que un «liquid quart» (cuarto para líquidos). Un «dry quart» equivale a 1 1/6 «liquid quarts». Existen innumerables medidas más de volumen en Estados Unidos, incluso objetos como «tazas», «cucharadas» y «cucharaditas», en términos culinarios. Es muy dudoso que ni siquiera uno de cada mil norteamericanos comprenda bien todas estas medidas y sus interrelaciones.

La más familiar de las unidades comunes de medición de volumen es el cuarto para líquidos (al que la mayoría de los norteamericanos llaman, simplemente, «quart», dado que nunca han oído hablar del cuarto para áridos, o se han olvidado de él si lo aprendieron). Por ejemplo, todos saben lo que es un «quart» de leche. Por ello, tal vez tengan una noción del tamaño del metro cúbico si recuerdan que éste contiene algo más de mil «liquid quarts» (1 057, para ser exactos).

El metro cúbico se llama a veces «estéreo», de la voz griega que significa «sólido». Sin embargo, este término no es una forma correcta en la versión SI del sistema métrico.

Naturalmente, no sólo los cubos tienen volúmenes. Las esferas, u objetos de *cualquier* forma, regulares o irregulares, poseen también volúmenes, y siempre pueden expresarse en metros cúbicos.

Supongamos, por ejemplo, que tenemos una esfera en la que se traza una línea recta desde su centro a cualquier punto de su superficie, y que esta línea tiene 1 metro de longitud. En tal caso, se dice que la esfera tiene 1 metro de radio.

Para calcular el volumen de una esfera empleamos la fórmula $4\pi r^3/3$, donde «r» es la longitud del radio, y π, el usual 3,1416, como valor aproximado. El valor de $4\pi/3$ es de unos 4,189, por lo cual podemos decir que el volumen de una esfera es, con mucha aproximación, de $4{,}189\ r^3$. Así, una esfera de 1 metro de radio tendrá un volumen de unos 4,189 metros cúbicos. (El diámetro de una esfera es de dos veces el radio, y se puede calcular el volumen correcto si se sitúa en la equivalencia de $0{,}523\ d^3$, donde «d» es la longitud del diámetro.)

Si se trata de una esfera de 2 metros de radio, el volumen será de 4,189 x 2 x 2 x 2, ó 33,5 metros cúbicos. Como era de esperar, al doblarse la longitud del radio (una distancia) aumenta el volumen ocho veces. Al incrementar el radio en 10 veces, aumentará el volumen en 1 000. Como para todos los sólidos, el volumen aumenta como el cubo de la medida de cualquier longitud dada.

Si ascendemos por la escalera del volumen, encontraremos cosas que ya hemos visto al subir por la escalera de la longitud. No obstante, si representamos siempre los volúmenes como esferas huecas, con unos centros localizados en el centro de algún cuerpo astronómico, obtendremos una imagen diferente, en algunos aspectos, de la conseguida al subir por la escalera de la longitud.

Sin embargo, y gracias a la similitud, podemos permitirnos tomar unos escalones mayores en el caso de la escalera del volumen. Imaginaremos una serie de esferas cuyo radio aumenta en un orden de magnitud (un factor de diez) en cada peldaño. Por tanto, el volumen de la esfera se incrementará en tres órdenes de magnitud (un factor de un millar).

Así, en el Escalón 1 —con el que comenzaremos— imaginaremos una esfera hueca de 1 metro cúbico de volumen. El radio de semejante esfera es de unos 0,62035 metros, o casi 5/8 de metro. El diámetro de la esfera sería dos veces esto o, más o menos, 1 1/4 metros. Este número aumentará gracias a un factor de 10 con cada peldaño que ascendamos en la escalera del volumen, aunque no nos referiremos al mismo. Trataremos sólo con el volumen.

Una esfera hueca en el Escalón 1, de 1 metro cúbico de volumen, contendría cualquiera de los innumerables meteoroides que tienen un diámetro superior a 1 1/4 metros, o menos, si imaginamos que el centro de la esfera se encuentra en el centro del meteoroide.

Los meteoroides de tamaño superior a éste pueden sobrevivir al paso a través de la atmósfera y alcanzar la superficie de la Tierra. Pueden causar daños considerables en la inmediata proximidad de la colisión, daños que podrían llegar a ser muy graves si alcanzase en pleno centro a una ciudad. Sin embargo, la Tierra constituye un blanco muy grande, e incluso ahora, en que la Tierra se halla tan densamente poblada y está tan llena de ciudades y de otras obras construidas por el hombre, son muy escasas las posibilidades de un impacto catastrófico a causa de un meteorito de una masa considerable.

El mayor meteorito que puede verse hoy en un museo se encuentra en el «Planetario Hayden», de Nueva York. Fue hallado en 1897, en la costa noroeste de Groenlandia, por el explorador norteamericano Robert E. Peary (el cual, doce años después, fue el primero en llegar al Polo Norte). Es un cuerpo de 4 metros cúbicos de volumen.

Otro meteorito, el mayor que se conoce, está aún enterrado en la parte norte de Namibia (en el sudoeste de África). Su diámetro más largo no llega a los 3 metros, y tal vez no tenga más de 10 metros cúbicos de volumen.

ESCALÓN 2

1 000 metros cúbicos (10^3 m^3)
1 decámetro cúbico (10^0 dam^3)

En la parte central de Arizona, cerca de la ciudad de Windsor, se encuentre el llamado «Cráter del Meteoro», causado hace entre 15 000 y 40 000 años por el impacto de un meteorito. Mide 1,2 kilómetros de longitud y 0,18 kilómetros de profundidad. Si el meteorito que excavó el cráter en el momento de la colisión hubiese alcanzado incluso a una ciudad más grande que las medidas del mismo, la hubiese borrado instantáneamente del mapa. Se estima que este meteoro tenía unos 25 metros de diámetro y, tal vez, unos 8 decámetros cúbicos de volumen.

ESCALÓN 3

1 000 000 de metros cúbicos (10^6 m^3)
1 hectómetro cúbico (10^0 hm^3)

De todos modos, el «Cráter del Meteoro» no es el mayor que haya producido una marca aún visible en la superficie terrestre. Sin embargo, todos los cráteres más grandes son mucho más antiguos y menos prominentes. Por lo general, se ven desde el aire como unas intrusiones más o menos circulares en el terreno que los rodea, se hallan en parte llenos de agua, con sus estratos rocosos inclinados y distorsionados y con diferencias en la vegetación dentro y fuera del mismo. Muchos de ellos debieron de producirlos meteoroides de un volumen dentro del ámbito del Escalón 3.

ESCALÓN 4
1 000 000 000 de metros cúbicos (10^9 m^3)
1 kilómetro cúbico (10^0 km^3)

La marca más grande que aún puede divisarse en la Tierra, y que debió tener su origen en el impacto de un meteorito, se halla localizada en el norte de Quebec. El cráter tiene unos 440 kilómetros de longitud, y debió de ser causado por un meteorito con un volumen aproximado de un kilómetro cúbico.

Todos los objetos carentes de aire en el Sistema Solar parecen estar sembrados de cráteres producidos por colisiones con fragmentos de materia, muchos de los cuales, indudablemente, se encuentran en un radio de 1 kilómetro cúbico e incluso más allá. Las únicas excepciones entre los mundos sin aire son aquellos en los que el agua helada (como sobre Calisto) o la lava solidificada (como sobre Ío) han llenado los cráteres.

En el ámbito del Escalón 4, una esfera tendría 1,24 kilómetros de diámetro con lo cual podemos abordar los objetos espaciales que poseen un nombre. El asteroide Hermes, que se acercó incómodamente a la Tierra en 1937, tal vez se adecuaría a una esfera de este tipo.

ESCALÓN 5
1 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{12} m^3)
1 000 kilómetros cúbicos (10^3 km^3)

Una esfera de este tamaño tiene unos 12,4 kilómetros de longitud y contendría un objeto lo suficientemente grande como para pensar que se trataría de un asteroide, más bien que de un meteoroide. El asteroide Eros, el mayor de los rozadores de la Tierra, no acabaría de encajar en una esfera del Escalón 5, puesto que su diámetro mayor es de unos 15 kilómetros. Sin embargo, su volumen total es sólo de unos 500 kilómetros cúbicos.

Recientemente se ha emitido la opinión de que la colisión con la Tierra de un asteroide del volumen del Escalón 5, hace unos 65 millones de años, lanzó hacia la estratosfera una capa de polvo que impediría el paso de la luz solar el tiempo suficiente como para que se esterilizara toda la Tierra. Esta catástrofe sería la que pudo haber matado a los dinosaurios.

Los satélites más pequeños encajarían en la esfera del Escalón 5. El satélite de Júpiter, Leda, probablemente no tenga más de 10 kilómetros de longitud en su diámetro más largo, y se adecuaría a una esfera así.

De los dos satélites de Marte, el menor, Deimos, tiene 16 kilómetros de longitud en su diámetro mayor, y no encajaría en dicha esfera. Sin embargo, es más estrecho en otras direcciones, y su volumen no llega por completo a los 800 kilómetros cúbicos.

Una esfera del Escalón 5 puede casi contener el promedio de una estrella neutrón, que tendría un volumen de 1 500 kilómetros cúbicos más o menos. Como es natural, una estrella así contendría enormemente más materia que un asteroide del mismo tamaño.

ESCALÓN 6

1 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{15} m^3)
1 000 000 de kilómetros cúbicos (10^6 km^3)

Hasta aquí hemos tratado de objetos astronómicos de forma irregular. Ahora hemos alcanzado un objeto con un volumen de 1 000 000 de kilómetros cúbicos, más o menos, y, con ello, el campo gravitacional es ya de una intensidad suficiente como para forzar a todas las partes del objeto a caer lo más lejos posible hacia el centro. El resultado de esto es una esfera.

Una esfera del Escalón 6 posee un diámetro de unos 124 kilómetros. Aquí y más allá, la regla es una forma más o menos esférica, excepto para la distorsión originada por la rápida rotación o por la cercanía de otro objeto de gran tamaño.

De los satélites más exteriores de Júpiter, Elara, el segundo en tamaño, tiene unos 80 kilómetros de longitud y posee un volumen de 270 000 kilómetros cúbicos. El más grande, Himalia, con un diámetro de 170 kilómetros, tiene un volumen de unos 2 500 000 kilómetros cúbicos.

ESCALÓN 7

1 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{18} m^3)
1 megámetro cúbico (10^0 Mm^3)

En este estadio tenemos ya una esfera hueca que puede contener incluso a los asteroides más grandes. La esfera del Escalón 7 posee un diámetro de 1,24 megámetros, mientras que el mayor asteroide alcanza un diámetro de poco más de 1 megámetro y un volumen sólo algo superior a 0,5 megámetros cúbicos.

Existen, naturalmente, satélites que son mayores que cualquier asteroide. El satélite de Saturno, Japeto, posee un diámetro de 1,44 megámetros y un volumen de 1,5 megámetros cúbicos aproximadamente.

ESCALÓN 8

1 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{21} m^3)
1 000 megámetros cúbicos (10^3 Mm^3)

Con la esfera del Escalón 8, que tiene un diámetro de unos 12,4 megámetros, hemos pasado más allá del estadio de los satélites y alcanzado los volúmenes planetarios. Venus tiene un diámetro de 12,1 megámetros, y la Tierra, de 12,77 megámetros. Esto significa que el volumen de Venus es de 926 megámetros cúbicos, y el de la Tierra, de 1 090 megámetros cúbicos. Estos dos planetas encajan muy bien en la esfera del Escalón 8.

La esfera podría incluso contener una estrella enana blanca. La más grande y más famosa enana blanca que se conoce es Sirio B, la compañera de Sirio, la estrella más brillante del firmamento. Su volumen es de unos 715 megámetros cúbicos.

ESCALÓN 9
l 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{24} m^3)
1 000 000 de megámetros cúbicos (10^6 Mm^3)

Nos encontramos ya en el reino de los planetas gigantes. Saturno tiene un diámetro de 120 megámetros, y Júpiter, de 143,8 megámetros, en comparación con el diámetro de 124 megámetros de la esfera del Escalón 9.

No obstante, en ambos casos planetarios, el diámetro nos da una levemente exagerada noción del volumen. Tanto Saturno como Júpiter, a causa de su desusadamente rápida rotación, tienen un «abultamiento ecuatorial», por lo cual el diámetro ecuatorial, que es la cifra que suele darse, es considerablemente mayor que los demás diámetros. Si Saturno tuviese un diámetro de 120 megámetros en cualquier dirección, su volumen sería de unos 916 000 megámetros cúbicos. Pero, en realidad, sólo llega a unos 860 000 megámetros cúbicos. Incluso así, su volumen es de siete octavos del de la esfera del Escalón 9.

En cuanto a Júpiter, su volumen es de 1 400 000 megámetros cúbicos aproximadamente.

Incluso podemos empezar a hablar en este estadio de sistemas de satélites. Si imaginamos una esfera del Escalón 9 con su centro en el centro de Marte, ambos satélites marcianos estarían girando dentro de la esfera. Deimos, el satélite más alejado, giraría a una distancia de sólo algo más de una tercera parte de distancia desde el centro de la esfera hasta su superficie.

En efecto, una esfera de sólo 1/20 el volumen de la del Escalón 9, sería suficiente para albergar el sistema de satélites marcianos.

(Sin embargo, esto no significa que debamos retroceder a la esfera del Escalón 8 para los satélites marcianos. Dado que estamos subiendo unos peldaños de tres órdenes de magnitud cada vez, la esfera del Escalón 8 es sólo 1/1 000 del volumen de la esfera del Escalón 9, o sólo 1/50 de la que se necesitaría para encerrar los satélites marcianos.)

ESCALÓN 10
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{27} m^3)
1 gigámetro cúbico (10^0 Gm^3)

Aquí, tras otra expansión de mil veces, alcanzamos el estadio del gigámetro cúbico y vemos que nuestra esfera puede contener sin el menor problema a Saturno y a todo su sistema de anillos. El diámetro extremo del «anillo E» más exterior de Saturno (no visible desde la Tierra) no llega a 1 gigámetro, mientras que el diámetro de la esfera del Escalón 10 tiene 1,24 gigámetros.

La esfera del Escalón 10 puede contener también a Urano y todo su sistema de satélites, dado que la órbita de Oberón, el satélite más exterior conocido de Urano, presenta un diámetro de sólo 1,17 gigámetros. Digamos, de pasada, que puede contener el sistema Tierra-Luna, dado que la órbita de la Luna en torno a la Tierra posee un diámetro mayor de 0,76 gigámetros.

Sólo un objeto del Sistema Solar es lo suficientemente grande, por sí mismo, como para encontrarse en este ámbito y, naturalmente, se trata del Sol. Tiene un diámetro de unos 1,4 gigámetros, y su volumen es, por tanto, de unos 1,44 gigámetros cúbicos.

ESCALÓN 11

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{30} m^3)
1 000 gigámetros cúbicos (10^3 Gm^3)

Una esfera del Escalón 11 puede casi contener el sistema de satélites neptuniano. El satélite mayor de Neptuno, Tritón, tiene una órbita que se acomodaría con facilidad en la esfera del Escalón 10, pero el satélite exterior. Nereida, describe una órbita de 11,1 gigámetros de diámetro. Podría acomodarse con facilidad en el diámetro de 12,4 gigámetros de la esfera del Escalón 11, si Nereida describiese una órbita esencialmente circular, lo mismo que Tritón. Sin embargo, la órbita de Nereida es completamente excéntrica, y en su punto más alejado de Neptuno se movería a no menos de 3,5 gigámetros más allá de la superficie de la esfera.

La esfera del Escalón 11 podría abarcar con facilidad todo el sistema de satélites saturniano, excepto en lo que se refiere al satélite más exterior, Febe. Sin contar éste, el diámetro extremo del sistema de satélites saturniano es de sólo 7,1 gigámetros.

Una esfera del Escalón 11 no podría llegar a contener la relativamente pequeña estrella gigante roja de Arturo, que, con un diámetro de 37 gigámetros, tiene un volumen de más de 25 000 gigámetros cúbicos.

ESCALÓN 12

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{33} m^3)
1 000 000 de gigámetros cúbicos (10^6 Gm^3)

En el estadio del millón de gigámetros cúbicos puede abarcarse cada uno de los sistemas de satélites. Júpiter posee el mayor sistema de satélites de cualquier planeta, pero incluso su satélite más exterior tiene un diámetro orbital de no más de 48 gigámetros, frente al diámetro de 125 gigámetros de la esfera del Escalón 12. Una esfera de sólo 1/17 del volumen de la esfera del Escalón 12 sería suficiente para contener el sistema de satélites joviano.

En realidad, ahora estamos al borde del sistema planetario. Si la esfera del Escalón 12 tuviese su centro en el centro del Sol, contendría la órbita de Mercurio, el planeta más cercano, si la mencionada órbita fuese circular. El diámetro de la órbita de Mercurio es casi de 115 gigámetros, pero la excentricidad de dicha órbita colocaría a Mercurio a 7,5 gigámetros más allá de la superficie de la esfera del Escalón 12 en un extremo.

La gigante roja Beta del Pegaso, con un diámetro de 150 gigámetros, no encajaría por completo en la esfera del Escalón 12.

ESCALÓN 13

l 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (l0^{36} m^3)
1 terámetro cúbico (10^0 Tm^3)

Si el centro de la esfera del Escalón 13 se encontrase en el centro del Sol, su superficie se extendería casi hasta la órbita de Júpiter. Ésta tiene un diámetro de 1,56 terámetros, por lo cual una esfera que incluyese tal órbita tendría un volumen de 2 terámetros cúbicos aproximadamente.

La mayor gigante roja, Betelgeuse, en su pulsación más amplia, quedaría exactamente dentro de la esfera.

ESCALÓN 14

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos ($10^{39}m^3$)

1 000 terámetros cúbicos (10^3 Tm^3)

Esta expansión nos lleva al diámetro de los 12,4 terámetros, y la esfera del Escalón 14, si tuviese su centro en el centro del Sol, sería lo suficientemente grande como para incluir todo el sistema planetario, dado que el diámetro de la órbita de Plutón, el planeta más alejado que se conoce, es de sólo 11,8 terámetros.

Sin embargo, la órbita de Plutón es aún más excéntrica que la de Mercurio. En un extremo de su órbita, se aleja 7,22 terámetros del Sol, y en este punto se encuentra muy cerca de un terámetro completo más allá de la superficie de la esfera del Escalón 14.

Si consideramos estrellas individuales, ni siquiera la más grande gigante roja llegaría a cubrir más del 1/90 de esta esfera.

ESCALÓN 15

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{42} m^3)

1 000 000 de terámetros cúbicos (10^6 Tm^3)

Si dispusiéramos la esfera del Escalón 15 en el centro del Sol, incluiría todas —menos una— las órbitas de los cometas cuyas órbitas son conocidas. La excepción, como es natural, es el cometa Kohoutek.,

Si imaginamos la esfera del Escalón 15 centrada en el centro del Sol, el cometa Kohoutek, en el extremo de su órbita más distante del Sol, se alejaría más allá de la superficie de la esfera. En realidad, la esfera incluiría menos de 1/9 de la longitud de la enormemente alargada órbita del cometa Kohoutek.

Incluso si colocásemos el centro de la órbita del cometa Kohoutek, dicha órbita se extendería aún 200 terámetros más allá, a cada lado, de la superficie de la esfera. Más de las dos terceras partes de su órbita quedaría más lejos de la superficie de la esfera.

ESCALÓN 16

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{45} m^3)

1 petámetro cúbico (100^0 Pm)

En el volumen del Escalón 16 alcanzamos el estadio del petámetro cúbico, y en este momento toda la poderosa órbita del cometa Kohoutek queda dentro de la esfera, si ésta se halla centrada en el Sol. El cometa Kohoutek, en el extremo más alejado de su órbita, está a 0,5282 petámetros del Sol, mientras que la esfera, con un diámetro de 1,24 petámetros, extiende su superficie a 0,62 petámetros del Sol en cada dirección.

ESCALÓN 17

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{48} m^3)
1 000 petámetros cúbicos (10^3 Pm^3)

La esfera del Escalón 17 tiene un diámetro de 12,4 petámetros, el cual equivale a 1,31 años-luz. Por tanto, el volumen de la esfera está muy cerca de los 1,18 años-luz cúbicos. No nos alejaremos mucho de esto si decimos que 1 000 petámetros cúbicos es igual a 1 año-luz cúbico.

Si la esfera del Escalón 17 estuviese centrada en el Sol, la superficie de la esfera se hallaría ubicada a lo largo de los alcances más interiores de la gran capa de cometas que giran en torno al Sol, según la teoría de Oort.

ESCALÓN 18

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{51} m^3)
1 000 000 de petámetros cúbicos (10^6 Pm^3)

La esfera del Escalón 18, con su imponente diámetro de 13,1 años-luz, si se centrase en el Sol, abarcaría su superficie más allá de la capa de cometas del Sol. En realidad, incluiría las 30 estrellas más cercanas al Sol dentro de su volumen de mil años-luz cúbicos.

Si la esfera estuviese centrada en el centro de un pequeño enjambre globular de la constelación de Sagitario, abarcaría casi todo el enjambre, o cerca de 15 000 estrellas, que se extenderían 500 veces tan densas a través del espacio como las estrellas en nuestra parte del Universo.

Esto significa que la distancia media entre estrellas en semejante enjambre globular sería sólo de un octavo de lo que sucede aquí. En nuestras proximidades, la estrella más cercana al Sol se halla a 4,4 años-luz de distancia; en un enjambre globular puede ser sólo de 0,5 años-luz de distancia. Incluso a esta distancia (pequeña para una estrella, según nuestros tipos), las estrellas parecerían sólo meros puntos luminosos. Las estrellas en el firmamento, dentro de un enjambre globular, serían mucho más brillantes de cuanto lo son aquí, pero no parecerían más grandes.

ESCALÓN 19

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{54} m^3)
1 exámetro cúbico (10^0 Em^3)

Una esfera del Escalón 19 (con un diámetro de 131 años-luz), si se colocase en el centro del enjambre globular más grande que se conoce, lo incluiría por completo con facilidad. Quedarían dentro de la esfera varios millones de estrellas.

ESCALÓN 20

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{57} m^3)
1 000 exámetros cúbicos (10^3 Em^3)

Supongamos que situamos la esfera del Escalón 20, con su diámetro de 1310 años-luz, en el centro de nuestra Galaxia. Entonces se encontraría en el centro de lo que es, esencialmente, el equivalente de un enjambre globular gigante. La esfera contendría varios miles de millones de estrellas.

ESCALÓN 21

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{60} m^3)
1 000 000 de exámetros cúbicos (10^6 Em^3)

Una esfera del Escalón 21 es lo suficientemente grande como para incluir una galaxia enana. Si su centro se colocase en el centro de la Pequeña Nube de Magallanes, su diámetro de 13 100 años-luz incluiría toda la galaxia.

Como es natural, la Pequeña Nube de Magallanes es una galaxia enana, y posee relativamente pocas estrellas, que su campo gravitatorio total no lograría sujetar con un volumen relativamente pequeño. La misma esfera, con su centro en el centro de nuestra propia Galaxia, abarcaría más de 100 mil millones de estrellas.

ESCALÓN 22

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{63} m^3)
1 000 000 000 de exámetros cúbicos (10^9 Em^3)

En este estadio deberíamos emplear ya un nuevo prefijo más allá del «exa-», pero la versión SI no nos facilita ninguno. Por tanto, deberemos seguir usando los exámetros.

Una esfera del Escalón 22, con su centro en el centro de nuestra Galaxia, extendería su vasto diámetro de 131 000 años-luz e incluiría todo el enjambre, hasta llegar a los 300 000 000 000 de estrellas.

Y aunque nuestra Galaxia es un gigante entre las galaxias, no es, sin embargo, la mayor. Existen enormes galaxias que contienen hasta 10 billones de estrellas, con diámetros el triple de la esfera del Escalón 22.

ESCALÓN 23

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{66} m^3)
1 000 000 000 000 de exámetros cúbicos (10^{12} Em^3)

Cualquier galaxia, hasta la más grande, se perdería dentro de una esfera del Escalón 23. Tal esfera, con un diámetro de 1 310 000 años-luz, si se centrase en el centro de nuestra Galaxia, incluiría no sólo a nuestra Galaxia, sino casi cinco de las galaxias enanas más próximas.

ESCALÓN 24

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{69} m^3)
1 000 000 000 000 000 de exámetros cúbicos (10^{15} Em^3)

Una esfera del Escalón 24 con su centro en el centro de nuestra Galaxia contendría todo el Grupo Local y aún le sobraría bastante sitio. Incluso los enjambres de galaxias más grandes, que contienen, por lo menos, un millar de galaxias, cabrían en una esfera así.

ESCALÓN 25

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{72} m^3)
1 000 000 000 000 000 000 de exámetros cúbicos (10^{18} Em^3)

Una esfera del Escalón 25 con su centro en nuestra Galaxia (en cualquier lugar de la misma, puesto que el sitio exacto no constituiría una diferencia perceptible), incluiría en su interior 20 000 galaxias.

ESCALÓN 26

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{75} m^3)
1 000 000 000 000 000 000 000 de exámetros cúbicos (10^{21} Em^3)

Una esfera del Escalón 26 con su centro en nuestra Galaxia incluiría en su interior más de 20 000 000 de galaxias.

ESCALÓN 27

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de metros cúbicos (10^{78} m^3)
1 000 000 000 000 000 000 000 000 de exámetros cúbicos (10^{24} Em^3)

La esfera del Escalón 27 tendría un diámetro de 13 000 000 000 de años-luz, y si su centro se encontrase en nuestra Galaxia, incluiría en su interior tal vez 20 000 000 000 de galaxias.

Y con esto, escapamos del Universo. Por lo que podemos decir, aproximadamente, el Universo observable es el doble de ancho que una esfera del Escalón 27, tiene ocho veces su volumen y podría contener en ese caso quizá 100 000 000 000 de galaxias.

No obstante, si siguiésemos hasta llegar a una esfera del Escalón 28, ésta tendría más de 5 veces el diámetro del Universo y más de 150 veces su volumen. Así, en 26 Escalones, que han cubierto 78 órdenes de magnitud, hemos recorrido el camino desde el volumen de un pequeño meteorito hasta el volumen total del Universo.

LA ESCALERA DEL VOLUMEN HACIA ABAJO

ESCALÓN 1
1 metro cúbico (10^0 m^3)

Volvamos de nuevo al metro cúbico, y antes de iniciar un breve descenso, considerémoslo en relación con el cuerpo humano.

Imaginemos una caja hueca de 1 3/4 metros aproximadamente de altura, 1/2 metro de anchura y 1 1/6 metros de profundidad. Éste sería un volumen de 1 metro cúbico aproximadamente. Yo puedo meterme en una caja así y encontrarla lo suficientemente alta y ancha como para albergarme. Y no sólo a mí, sino también a tres personas más, exactamente iguales que yo. En resumen, una caja de este tipo contendría a cuatro personas iguales que yo.

ESCALÓN 2
0,001 metros cúbicos (10^{-3} m^3)
1 decímetro cúbico (10^0 dm^3)

Una unidad de volumen lo suficientemente amplia como para albergar a cuatro cuerpos humanos, tal vez sea demasiado grande como base con la que construir otras unidades de la misma clase. Por ello, se ha ejercido una considerable presión con objeto de obtener una base más pequeña de medición del volumen.

La versión SI podría estar justificada por atenerse con rigidez al metro cúbico, puesto que se halla íntimamente relacionado con el metro cuadrado como unidad básica del área y con el metro como unidad básica de longitud. Sin embargo, la presión ha sido irresistible, y el decímetro cúbico, que equivale a 1/1 000 del volumen del metro cúbico, ha alcanzado una consideración especial.

Un decímetro cúbico se denomina corrientemente un «litro», del nombre de una antigua unidad francesa de volumen. Se simboliza con «L» y puede emplearse también como unidad básica de volumen.

En realidad, 1 litro es igual a 1,057 «liquid quarts» y, a la inversa, un «liquid quart» equivale a 0,9464 litros. Por ello, un litro (o un decímetro cúbico) es, aproximadamente, igual a un «liquid quart». Si imaginamos el común contenedor de un «quart» de leche (algo muy fácil en Estados Unidos), pensamos en algo que representa algo menos de un litro, o de un decímetro cúbico, de volumen. Y, lo que es más, un galón, hablando *grosso modo*, son cuatro litros, y una pinta equivale, más o menos, a medio litro.

ESCALÓN 3
0,000 001 metros cúbicos (10^{-6} m^3)
1 centímetro cúbico (10^0 cm^3)

En el sistema corriente norteamericano, la unidad de volumen más pequeña basada en una medida de longitud es la pulgada cúbica. Dado que una pulgada es igual a 2,54

centímetros, una pulgada cúbica equivaldrá a 2,54 centímetros x 2,54 centímetros x 2,54 centímetros, es decir, 16,4 centímetros cúbicos. A la inversa, un centímetro cúbico equivale a 1/16,4 pulgadas cúbicas.

Un «liquid quart» se divide en 32 «fluid ounces» (onzas para líquidos). Puesto que un «quart» es igual a 946,4 centímetros cúbicos, una onza para líquidos equivale a 1/32 del mismo, es decir, 29,6 centímetros cúbicos.

Los farmacéuticos (para los cuales «boticario» es una denominación anticuada y ya en desuso), están acostumbrados desde hace mucho tiempo a tratar con volúmenes muy pequeños de medicamentos muy fuertes, por lo que, en Estados Unidos, existe la llamada «medida de fluidos para boticarios», para manejar semejantes volúmenes pequeños. Hace mucho tiempo que fue desplazada por el sistema métrico, pero sus unidades forman aún parte del idioma inglés.

Así, una onza de líquidos se divide en 8 «fluid drams» (dracmas de fluidos), y cada una de esas dracmas de fluidos equivale a 3,7 centímetros cúbicos. A su vez, el «fluid dram» se subdivide en 60 «minims» (gotas), y cada «minim» es, por tanto, 1/16 de centímetro cúbico. Por lo general el «minim» se usa para representar una gota de agua, y, en consecuencia, en un centímetro cúbico habría unas 16 gotas de agua.

Dado que un centímetro cúbico es una milésima de decímetro cúbico, o de un litro, se denomina a veces «mililitro».

ESCALÓN 4
0,000 000 001 metros cúbicos (10^{-9} m^3)
1 milímetro cúbico (10^0 mm^3)

Como quiera que un milímetro cúbico es una milésima de centímetro cúbico, se deriva de ello que una gota de agua equivale a unos 60 milímetros cúbicos.

Con esto abandonamos el descenso. El ir más lejos no nos brindaría nada nuevo en comparación con lo que hemos tratado al bajar por la escalera de la longitud, y ha llegado el momento de que cambiemos considerablemente de tema.

LA ESCALERA DE LA MASA HACIA ARRIBA

ESCALÓN 1
1 kilogramo (10^0 kg)

Hasta ahora hemos tratado de la longitud, el área (el cuadrado de la longitud) y el volumen (el cubo de la longitud). Ahora derivaremos hacia otro tipo de medición que no tiene nada que ver con la longitud y que es tan fundamental como ella. Se trata de la «masa».

Por lo general, los no científicos piensan en la masa como «peso», y mientras nos limitemos a la superficie de la Tierra al nivel del mar, ambas cosas, masa y peso, son en realidad directamente proporcionales la una a la otra en un grado considerable de precisión. Es decir, si el objeto A tiene 4,23 veces tanta masa (o «es 4,23 veces tan masiva») como el objeto B, el objeto A tendrá también 4,23 veces tanto peso (o «es 4,23 veces tan pesado») como el objeto B.

Esta proporción se mantiene tan bien en todos los ámbitos, que incluso los científicos intercambian ocasionalmente los términos y tienden a emplear la misma serie de unidades para ambas cosas.

Sin embargo, masa y peso son cosas diferentes por completo. La masa es la medición de la facilidad con la que un objeto puede ser acelerado. (Para expresarlo de forma más sencilla, aunque no *por completo* exacta, la masa es la medición de la cantidad de materia contenida en un objeto). Por otra parte, el peso es la medición de la fuerza con la que el campo gravitatorio de un cuerpo cercano (en condiciones ordinarias, casi invariablemente la Tierra) atrae a un objeto.

En realidad, cuanto mayor es la masa de un cuerpo, mayor es la fuerza de atracción gravitatoria por la Tierra respecto a ese cuerpo. Esto constituye una regla general, por lo que debemos pensar que, cuanto mayor sea la masa de un cuerpo, mayor será el peso... inevitablemente. En este caso, ambos serían idénticos.

Pero no es así. La fuerza de atracción gravitatoria de la Tierra sobre un cuerpo particular depende asimismo de la distancia a la que dicho cuerpo se encuentre del centro de la Tierra, mientras que la masa no. Por tanto, si un objeto es llevado desde un valle a la cima de una montaña, el peso disminuye levemente, mientras que no lo hace la masa.

Una vez más, si un objeto es llevado desde la Tierra hasta Luna (que tiene una gravedad superficial de sólo una sexta parte la de la Tierra), el peso disminuye hasta una sexta parte, pero la masa sigue inmutable. Si un objeto bajase en caída libre, como ocurriría si se tratase de un satélite en órbita o de cualquier parte de su contenido, su peso sería, esencialmente, cero, pero, una vez más, su masa permanecería invariable.

Por tal razón, los científicos son muy cuidadosos en distinguir entre masa y peso y en usar las masas sólo cuando significan masa, y el peso, sólo cuando significa peso. Dado que la masa es la más constante de los dos, tienden a emplear la masa más a menudo que el peso.

(La masa no es en absoluto inmutable. Cambia con el movimiento, mas para que sea perceptible el cambio, el movimiento debe ser muy rápido. Nada realizado por el

hombre se mueve lo suficientemente rápido como para producir un perceptible efecto sobre la masa.)

Cuando los creadores del sistema métrico, en la década de 1790, buscaban una unidad de masa, hicieron un esfuerzo para relacionarlo con las unidades de longitud, de acuerdo con el sistema que ya habían establecido.

Si comenzamos con el centímetro, una unidad común de longitud en el sistema métrico, podemos establecer el centímetro cúbico como unidad de volumen. Imaginemos un centímetro cúbico de agua pura en ciertas especificadas condiciones del medio ambiente, que no necesitamos desarrollar aquí. La masa de esa cantidad de agua se estableció como igual a 1 «gramo». (La palabra gramo procede de la voz griega que significaba una letra del alfabeto, presumiblemente porque un peso griego tenía en él un vocablo griego —los griegos utilizaban las letras también como números—, para indicar el tamaño de dicho peso.) El gramo se simboliza con «g».

El gramo se tomó como unidad básica de masa, y se le añadieron los prefijos usuales. Un hectogramo son cien gramos, un miligramo es un milésimo de gramo, etcétera.

En realidad, el gramo es una unidad de masa más bien pequeña. Un gramo es igual a 0,002205 de las «libras» que se usan corrientemente como unidades de masa en el sistema norteamericano. Por tanto, un gramo es igual a 1/453,5 libras.

(Téngase en cuenta que, por lo general, se cree que todas las libras son unidades de peso, y así se usan. En realidad, lo mismo ocurre con los gramos. Los científicos mantienen esa identidad de unidades, aunque las unidades adecuadas de peso son unidades de fuerza, algo sobre lo que no queremos insistir. Cuando los científicos se ven forzados a emplear unidades de masa como unidades de peso, a veces distinguen ambas hablando de tantas «libras (p)» o de tantos «gramos (p)». Aquí trataremos sólo de la masa, nunca del peso, por lo cual no tendremos el menor problema.)

De hecho, el gramo es demasiado pequeño para un uso corriente. En Estados Unidos se tiende a pensar en libras porque las mismas miden cantidades de materia que pueden encontrarse en la vida corriente. Si pensásemos en términos del sistema métrico, por lo general trataríamos con cantidades de miles de gramos.

El «kilogramo» es igual a 1 000 gramos, y se trata de una unidad mucho más conveniente para emplearla como unidad básica de masa. De este modo se emplea en la versión SI del sistema métrico. Dado que un centímetro cúbico (o litro) equivale a 1 000 centímetros cúbicos, se deriva de ello que 1 litro de agua tiene una masa de 1 kilogramo.

Un kilogramo es igual a 2,2046 libras o, aproximadamente, 2 1/5 libras.

Para comprobar lo manejable de un kilogramo, digamos que un pequeño pollo para freír, tal y como lo vende el carnicero, puede pesar 1 kilogramo. Un «quart» de leche pesa casi 1 kilogramo. Los pulmones de un hombre adulto tienen una masa media de 1 kilogramo aproximadamente, mientras que la masa media del cerebro del mismo es de 1,45 kilogramos más o menos.

Así pues, comenzando con 1 kilogramo ascendemos por la escalera hacia masas cada vez mayores. Puesto que la masa es tan fundamental como la forma de medir la longitud, lo mismo que en el caso de la longitud, aquí me desplazaré cada vez en un orden mitad de magnitud.

ESCALÓN 2
3,16 kilogramos ($10^{0,5}$ kg)

En Estados Unidos, la masa promedio de un recién nacido del sexo masculino es de unos 3,4 kilogramos; una niña pesa 3,36 kilogramos. Un galón de agua tiene una masa de 3,785 kilogramos, y el total de sangre que contiene el cuerpo humano es, en peso medio, de unos 5 kilogramos.

A este nivel de masa podemos, en cierto modo, incluso tratar con la atmósfera de la Tierra. La atmósfera consiste en una mezcla de cierto número de gases, los principales de los cuales son el nitrógeno y el oxígeno. Existe cierto número de componentes menores, incluyendo los seis llamados gases nobles que, de ordinario, no reaccionan con otras sustancias. De éstos, el más raro es el radón, el cual es radiactivo, por lo cual los átomos se descomponen según un índice dado, y entonces deja de ser radón. De cualquier cantidad de radón, la mitad de los átomos se descomponen sólo al cabo de cuatro días. La única razón de que el radón exista de algún modo, radica en que se está formando de continuo, mientras que el elemento uranio se escinde con gran lentitud. Se consigue un equilibrio entre la formación de radón y la escisión del mismo, por lo cual será radón una parte en diez billones de un volumen dado de aire. Esto significa que todo el radón que contiene la atmósfera de la Tierra pese unos 2,5 kilogramos, o sea, una masa inferior a la de un bebé recién nacido.

ESCALÓN 3
10 kilogramos (10^{1} kg)

En todo el mundo existe una gran variedad de unidades de masa (o peso) que datan de las épocas en que cualquier región, nación o incluso comunidad, tenía establecidas sus propias unidades y tipos. Pocos de ellos han sobrevivido en la era moderna del sistema métrico, pero, como cabía esperar, hay algunos vestigios de los mismos, particularmente en Gran Bretaña y Estados Unidos, donde la resistencia al sistema métrico ha sido más duradera.

En varios lugares se usaban unidades de masa llamadas «stone» (o su equivalente en diferentes idiomas: «piedra»). Resulta claro que este nombre tuvo su origen en el hecho de que alguna piedra en particular se emplearía como «medida», y en comparación con la misma se medirían todas las masas. La «piedra» variaba en cantidad de una región a otra, y una que sigue aún en uso es la «stone» británica, que se emplea corrientemente en Gran Bretaña para dar la masa de los seres humanos. Así, yo podría decir que tengo una masa de 12 «piedras».

El «stone» británico equivale a 14 libras, o a 6,36 kilogramos, algo que se encuentra en el lado inferior del nivel de masa del Escalón 3.

Entre los animales terrestres, sólo uno posee un cerebro de masa superior a la del hombre. Se trata del elefante, y el mayor cerebro de elefante medido tenía una masa de 7,5 kilogramos, cinco veces el cerebro humano, y muy por encima, en general, del promedio de los elefantes.

Más masivos aún son los cerebros de algunas de las grandes ballenas. Los mayores cerebros medidos (y probablemente los mayores que hayan existido) son los pertenecientes a los cachalotes. Uno de tales cerebros tiene una masa de 9,2 kilogramos, es decir, 6 1/3 veces la masa de un cerebro humano y casi tanta como la de un esqueleto humano adulto que llega, aproximadamente, a los 10 kilogramos.

Los gatos tienen masas que se encuentran en el ámbito de los 10 kilogramos. Lo mismo que un bebé humano de un año.

En el ámbito de masa del Escalón 3 nos aproximamos ya al límite de las aves voladoras. El problema de volar, de mantener una masa sobre el leve aire gracias al rápido movimiento de las alas, constituye algo muy difícil, y lo es cada vez más, a medida que aumenta la masa. Por tal razón, los animales voladores son menos masivos, en conjunto, que los nadadores o corredores. Los más grandes y mejores voladores del reino animal son las aves, pero ni siquiera la mayor ave voladora posee una masa muy superior a los 15 kilogramos.

Los huevos más grandes producidos por cualquier criatura, viviente o extinguida, son los del Aepyornis (o ave elefante), que otrora vivió en Madagascar y que ya he descrito antes. Sus huevos tenían una masa de hasta 12 kilogramos, siete veces la de los huevos de avestruz. Las semillas más grandes son las de los cocos dobles del árbol coco de mar de las islas Seychelles, cuya masa es de hasta 18 kilogramos.

ESCALÓN 4
31,6 kilogramos ($10^{1,5}$ kg)

La masa media de un muchacho norteamericano de diez años se encuentra a este nivel. El mono más grande es el mandril, y los mandriles macho adultos tienen una masa media de unos 30 kilogramos. Algunos de los bien conocidos depredadores, como, por ejemplo, el ocelote, se encuentran en este ámbito de masa.

Es posible que los reptiles voladores extintos, los pterosaurios, fueran en algunos casos, más masivos que las más masivas aves de hoy. Algunos pterosaurios debían de tener una masa de 25 kilogramos, más o menos, pero queda pendiente la cuestión de si se trataba de auténticos voladores. Tal vez fueran, simplemente, animales planeadores, que aprovechasen las corrientes de aire ascendentes para ganar altitud.

ESCALÓN 5
100 kilogramos (10^2kg)

Aquí alcanzamos ya el límite superior de la masa de los seres humanos normales. La hembra adulta norteamericana media tiene unos 58 kilogramos de masa (mi esposa pesa 55,5 kilogramos, pero es más alta que el promedio). El varón adulto tiene una masa de 68 kilogramos (y yo, 77 kilogramos). Los hombres del extremo superior del ámbito de altura, si están sólidamente constituidos, pueden alcanzar los 100 kilogramos, sin ser por ello excesivamente gordos.

Sin embargo, la mayoría de las personas de masas superiores a los 100 kilogramos son, francamente gordos, e incluso obesos. El famoso detective de ficción, Nero Wolfe, pesaba, según lo describía con frecuencia el narrador, Archie Goodwin, un séptimo de tonelada (o sea, que el peso del detective equivalía a una masa de 130 kilogramos).

Los perros grandes son tan masivos como los hombres grandes. La raza de perro con mayor masa es el San Bernardo, y se ha informado que uno de ellos tenía una masa de 140 kilogramos.

Los pumas tienen una masa de hasta 130 kilogramos. El mayor ave viviente, el avestruz, puede tener una masa de hasta 150 kilogramos, mientras que el mayor primate viviente, el gorila, posee una masa de hasta 180 kilogramos.

Incluso objetos de los que pensamos que son ligeros, poseen masas muy elevadas si se hallan implicadas las cantidades suficientes. Creemos que el aire posee poca masa, pero el aire contenido en la sala de estar de buen tamaño en un apartamento de lujo de Nueva York puede tener una masa, en las proximidades, de 100 kilogramos.

ESCALÓN 6
316 kilogramos ($10^{2,5}$ kg)

Al llegar al ámbito de masa del Escalón 6 nos hallamos ya en el límite humano absoluto. Se han dado casos de mujeres que han alcanzado masas superiores a los 360 kilogramos, y hombres de masas de 450 kilogramos, pero es muy probable que acabasen exhibiéndose en los circos. Se trata de una situación del todo anormal.

Los más masivos de los grandes felinos son los leones y los tigres. Los leones pueden alcanzar una masa de hasta 313 kilogramos, y los tigres de hasta 350 kilogramos. Sin embargo, en estos casos las masas son normales y no interfieren su eficiente funcionamiento.

Aunque ningún ave viviente (que no vuele, como es natural) puede alcanzar el ámbito de masa del Escalón 6, otrora hubo aves mayores que el avestruz, hoy extinguidas, que vivieron en los tiempos históricos. El moa gigante de Nueva Zelanda, que no se extinguió hasta casi los tiempos modernos, alcanzaba una masa de 225 kilogramos. La Aepyornis de Magadascar, que tal vez vivió hasta el siglo XVII y que es la más masiva de todas las aves conocidas, vivientes o extintas, tal vez alcanzara una masa de 450 kilogramos.

El más grande primate conocido, hoy extinguido, fue el Gigantopithecus, que se parecía a un gorila de gran tamaño y que alcanzaba una masa de 270 kilogramos, cuatro veces la masa de un norteamericano medio.

ESCALÓN 7
1 000 kilogramos (10^3 kg)
1 megagramo (10^0 Mg)
1 tonelada (10^0 t)

El nivel de masa del Escalón 7 nos coloca en el ámbito del megagramo, que equivale a un millón de gramos.

También nos encontramos en el ámbito de una unidad de masa, familiar en Estados Unidos, que se llama también tonelada («ton») y que equivale a 2 000 libras. A veces se denomina «short ton» (tonelada corta), porque en Gran Bretaña la unidad comparable, usada a menudo, es la «long ton» (tonelada larga), que equivale a 2 240 libras. Así pues, la tonelada corta es de unos 0,907 megagramos, y la larga, de unos 1,016 megagramos.

En el sistema métrico, el megagramo es un compromiso entre las dos toneladas y, en francés, 1 megagramo, ó 1 000 kilogramos, es una «tonne» (tonelada). Por desgracia, «tonne» se pronuncia lo mismo que «ton», y para soslayar la posibilidad de confusión, la «tonne», o tonelada, se conoce en Estados Unidos cómo «metric ton», o tonelada métrica.

La versión SI del sistema métrico prefiere el megagramo, pero permite a disgusto el empleo de la tonelada métrica. En Estados Unidos existe el peligro de confusión con la tonelada allí común, la cual es un diez por ciento más pequeña, y por esa razón me he

visto tentado a adherirme al uso del megagramo. No obstante, si se usa la tonelada métrica, se le pueden añadir prefijos y llegar a niveles de seis órdenes más elevados de los que se alcanzarían con los mismos prefijos unidos a «gramo». Por tanto, nada será tan elevado, como veremos al subir por la escalera de la masa. Además, usaré «tonelada» en vez de «tonelada métrica», puesto que resulta mucho más conveniente decir «kilotonelada» y «megatonelada», que «kilotonelada métrica» y «megatonelada métrica». La posibilidad de confusión entre ambas toneladas debe, simplemente, correrse en el caso de los norteamericanos, que deberían pensar en sistema métrico, y de ese modo no se confundirían...

El mayor carnívoro terrestre es el oso Kodiak de Alaska, especímenes del cual, en vida salvaje, pueden alcanzar una masa de 1,2 toneladas, mientras que un oso de este tipo en cautividad, capaz de ganar peso gracias a una buena alimentación y una vida sedentaria, alcanzó 1,65 toneladas.

El mayor pez agresivamente carnívoro (uno que come animales de considerable tamaño, en oposición a los animales muy diminutos, que son casi o del todo microscópicos, y que se denominan «plancton») es el gran tiburón blanco, que puede llegar a tener una masa de hasta 1 tonelada.

En conjunto, los animales que se alimentan de animales más pequeños pueden crecer hasta alcanzar pesos mayores que los que viven de animales más grandes, simplemente porque hay más animales pequeños que grandes.

Los animales que se alimentan de plantas pueden llegar a ser más grandes aún.

Así, el esturión, que se alimenta de animales pequeños, puede alcanzar un tamaño superior al de los tiburones, y la masa de algunos es de hasta 1,4 toneladas.

De forma similar, los osos grandes pueden superar a los mayores felinos, por ejemplo, ya que tales osos son omnívoros y pueden suplementar una dieta cárnica con vegetación, que no comen los grandes felinos.

Entre los animales terrestres estrictamente herbívoros, los ejemplos de los del ámbito del Escalón 7 son el alce (el mayor de los cérvidos), que llega a alcanzar una masa de tal vez 0,8 toneladas; se ha informado que el alce africano eland (el mayor de los antílopes) alcanza las 0,94 toneladas; la jirafa puede tener una masa de 1,05 toneladas.

ESCALÓN 8
3 160 kilogramos ($10^{3,5}$ kg)
3,16 toneladas ($10^{0,5}$ t)

En el ámbito de masa del Escalón 8 dejamos ya atrás los carnívoros vivientes terrestres, para pasar a los realmente grandes herbívoros. Tanto el rinoceronte como el hipopótamo pueden alcanzar masas de hasta 4,5 toneladas. Entre las criaturas marinas, el calamar gigante, que es el mayor de los invertebrados, alcanza también este ámbito de masa.

Hay artefactos humanos en cada uno de los ámbitos de masa expuestos, pero hasta ahora no existe nada tan distintivo, entre la multitud de los mismos, que nos fuerce a mencionarlos. Empero, aquí cabe señalar que incluso personas sin el beneficio de las máquinas más simples, han manejado notables masas de material. La Gran Pirámide, construida hacia el año 2600 a. de J.C., está compuesta por 2 300 000 bloques de piedra de una masa individual (en promedio) de 2,5 toneladas.

ESCALÓN 9
10 000 kilogramos (10^4 kg)
1 decatonelada (10^0 dat)

Los mayores carnívoros terrestres que hayan existido nunca (naturalmente, extinguidos en la actualidad) fueron los temidos *Tyrannosaurus rex y* otros «carnosaurios» afines. Pueden haber alcanzado una masa de 0,7 decatoneladas o sea, casi seis veces las de un oso Kodiak y diez veces las del mayor tigre.

Los únicos animales terrestres vivientes con masas dentro del ámbito de masa del Escalón 9 son herbívoros. Existen dos especies de elefantes, el asiático y el africano. El asiático es el menor de los dos, y los machos pueden aproximarse a una masa de 0,8 decatoneladas, distintamente mayores que cualquier carnívoro terrestre conocido que haya vivido en cualquier tiempo. El elefante africano es aún mayor, y los machos pueden ser tan masivos como para alcanzar 1 decatonelada.

Algunas especies extinguidas de elefantes pueden haber sido más masivos, pero el mamífero más masivo que jamás haya vivido no fue un elefante, sino un miembro de la familia de los rinocerontes. Fue el *Baluchitherium*, que pudo tener una masa de 2 decatoneladas o sea, dos veces la del mayor elefante.

Los animales marinos pueden crecer más y tener mayor masa que los terrestres. La flotabilidad del agua, virtualmente, paraliza cualquier impulso gravitacional total sobre el animal, por lo cual no existe en el agua el problema que se presenta en tierra al levantar el cuerpo hacia arriba contra la gravedad y moverlo, problema que se hace cada vez más difícil de solucionar, a medida que aumenta la masa. (Asimismo, también el alimento es más abundante en el mar.)

Así, pues, los mayores mamíferos son las ballenas, que viven exclusivamente en el mar. Incluso una pequeña especie de ballena es probable que sea más masiva que un elefante.

ESCALÓN 10
31 600 kilogramos ($10^{4,5}$ kg)
3,16 decatoneladas ($10^{0,5}$ dat)

La ballena gris del Pacífico puede alcanzar una masa de 4 decatoneladas, mientras que el tiburón blanco (que no es una ballena, sino un pez, y el mayor de todos los peces vivientes), alcanza una masa semejante.

La ballena-tiburón, aunque es 40 veces más masiva que el gran tiburón blanco, no es 40 veces tan terrorífica; en realidad, no es terrorífica en absoluto. Vive de plancton, lo cual equivale a decir lo mismo de un animal terrestre que se alimenta de hierba. Es una criatura no agresiva, totalmente inofensiva, aparte los daños que pueda originar en una colisión accidental.

Alguno de los mayores dinosaurios herbívoros (hoy extinguidos) estuvieron también en el ámbito de masa del Escalón 10. Lo mismo ocurre con el mayor meteorito exhibido, el del Museo Norteamericano de Historia Natural, de Nueva York, que tiene una masa de casi 3,1 decatoneladas.

Stonehenge, en el sudoeste de Inglaterra, está formado por grandes rocas con masas de hasta 4,5 decatoneladas. Fue construido entre los años 1800 y 1400 a. de J.C., y constituye un ejemplo de lo que pueden hacer los músculos humanos, aliados con el ingenio del hombre.

ESCALÓN 11
100 000 kilogramos (10^5 kg)
1 hectotonelada (10^0 ht)

Ahora hemos alcanzado el límite de la masa de los animales terrestres.

El mayor animal terrestre que haya vivido nunca fue un dinosaurio gigante (en la actualidad extinguido), llamado *Brachiosaurus.* Es posible que alcanzase una masa de 0,8 hectotoneladas, según algunas estimaciones. Esto representa cuatro veces la masa del *Baluchitherium.*

Sólo las grandes ballenas, que aún viven, pueden igualar esto. La ballena carnívora más grande (y el mayor animal carnívoro que haya vivido jamás, con toda verosimilitud) es el cachalote, en el que se han registrado unas masas de hasta 0,72 hectotoneladas.

La ballena de aleta dorsal, devoradora de planctom, puede alcanzar una masa muy próxima a 1 hectotonelada. Sin embargo, el récord lo posee la ballena azul de las aguas antarticas, que se cree se aproxima en algunos casos a las 1,9 hectotoneladas de masa. No existe la menor duda de que la ballena azul es el mayor animal viviente, y, con toda probabilidad, el mayor animal que haya vivido nunca, aunque un tiburón extinguido es posible que pudiese rivalizar con ella.

El meteorito más grande que conocemos es uno de Namibia, que posee una masa de 0,6 hectotoneladas.

ESCALÓN 12
316 000 kilogramos ($10^{5,5}$ kg)
3,16 hectotoneladas ($10^{0,5}$ ht)

Con este Escalón pasamos más allá de la vida animal, pero no de la vida en su conjunto. El mundo de las plantas puede producir especímenes mucho más masivos que cualquier animal. Un árbol corpulento que tenga 30 metros de altura rivaliza en masa con la mayor ballena.

Aún sería más masiva una piedra del tamaño equivalente. Los antiguos egipcios construyeron obeliscos monolíticos (altas y afiladas estructuras talladas con una sola piedra) que, concebiblemente, pudieron haber sido inspiradas por troncos de árboles usados al principio como monumentos.

El obelisco más grande se alza ahora en Roma. Tiene 33,5 metros de altura y una masa de 5 hectotoneladas. Comparado con el mismo, la famosa Estatua de la Libertad, de Nueva York (hueca, como es natural), sólo pesa 2 hectotoneladas.

Sin embargo, antes de perdernos en las maravillas de los artefactos antiguos (por mucho que se lo merezcan), consideremos que un gigantesco avión «Boeing Jumbo», cargado por completo, tiene una masa de 3,85 hectotoneladas, y en 1979 fue construido para *volar.*

ESCALÓN 13
1 000 000 de kilogramos (10^6 kg)
1 kilotonelada (10^0 kt)

La forma preferida de representar un millón de kilogramos en la versión SI del sistema métrico es «1 gigagramo», que puede simbolizarse con «Gg», pero el seguir con las toneladas me dará un mayor alcance, por lo cual, emplearé la kilotonelada a partir de este momento.

En el Escalón 13 nos encontramos ya en el ámbito de los árboles más grandes, y, entre ellos, las secoyas de California son los árboles de mayor masa, aunque no los más altos. Se ha estimado que la secoya llamada «General Sherman», en el Parque Nacional Secoya, tiene una masa de 2 kilotoneladas.

ESCALÓN 14
3 160 000 kilogramos ($10^{6,5}$ kg)
3,16 kilotoneladas ($10^{0,5}$ kt)

Hay dos clases de meteoros que, juntos, constituyen un buen porcentaje de los que se han recuperado en la Tierra. El más común es una variedad rocosa y el menos corriente, una variedad de níquel-hierro.

Un meteoro de piedra, toscamente esférico y de 12,5 metros de diámetro, pesaría unas 3 kilotoneladas. Un meteoro de hierro pesaría lo mismo con la mitad de diámetro. Tendrían cien veces la masa del mayor meteorito que se exhibe.

Naturalmente, en el espacio existe un número sustancial de tales objetos de 3 kilotoneladas (e incluso mayores), pero sus colisiones con la Tierra, aunque no imposibles, son muy raras.

ESCALÓN 15
10 000 000 de kilogramos (10^7 kg)
10 kilotoneladas (10^1 kt)

La Torre Eiffel, en París, se construyó en 1889, y durante 41 años fue la estructura más alta del mundo. Tiene una masa de 8 kilotoneladas, cuatro veces la del mayor objeto viviente.

El gas noble xenón es el más raro de los gases nobles estables; es decir, de los gases nobles que, a diferencia del radón, no se descomponen. Menos de una parte por diez mil millones de cualquier volumen de aire puro y seco está compuesto de xenón. Aun así, la masa total del xenón en la porción de la atmósfera que reposa encima del Estado de Rhode Island, asciende a 10 kilotoneladas, 1,25 veces la de la masa de la Torre Eiffel.

ESCALÓN 16
31 600 000 kilogramos ($10^{7,5}$ kg)
31,6 kilotoneladas ($10^{1,5}$ kt)

Nos encontramos ahora en el ámbito de masa de los modernos transatlánticos. En 1904, los británicos construyeron el transatlántico *Baltic*, que surcó los mares hasta 1933. Lo menciono porque, en 1923, transportó entre sus pasajeros a mi padre, a mi

madre, a mi hermana y a mí mismo, como inmigrantes a Estados Unidos. Su masa era de unas 21,5 kilotoneladas. El *Lusitania,* que fue botado en 1907 y que se hundió al ser torpedeado por un submarino alemán en 1915, tenía una masa de unas 28,5 kilotoneladas.

ESCALÓN 17

100 000 000 de kilogramos (10^8 kg)
100 kilotoneladas (10^2 kt)

El más masivo de los transatlánticos fue el *Queen Elizabeth,* botado en Gran Bretaña en 1940 y que fue retirado de servicio en 1972. Tenía una masa de unas 76 kilotoneladas.

Aún más grandes son los mayores portaaviones. El *U.S.S. Nimitz,* botado en 1972, tiene una masa de unas 83 kilotoneladas.

La población de Costa Rica tiene una masa total que se aproxima a las 100 kilotoneladas, si damos por supuesto que el ser humano medio pesa unos 50 kilogramos.

ESCALÓN 18

316 000 000 de kilogramos ($10^{8,5}$ kg)
316 kilotoneladas ($10^{2,5}$ kt)

Los actuales petroleros son mayores que cualquier otra cosa en el mar, y el más grande, terminado en 1981 por una empresa japonesa, tiene una masa de unas 510 kilotoneladas, que es más de 6 veces la del *U.S.S. Nimitz.*

La población de Suiza tiene una masa total de quizá 316 kilotoneladas.

ESCALÓN 19

1 000 000 000 de kilogramos (10^9 kg)
1 megatonelada (10^0 Mt)

En el nivel de masa del Escalón 19 nos hallamos ya en el ámbito de los rascacielos muy grandes y de los asteroides muy pequeños. Un asteroide, toscamente esférico en su forma y de unos 87,5 metros de diámetro, tendría una masa de 1 megatonelada. La población de Rumania alcanzaría también una masa total de 1 megatonelada, aproximadamente.

ESCALÓN 20

3 160 000 000 de kilogramos ($10^{9,5}$ kg)
3,16 megatoneladas ($10^{0,5}$ Mt)

La población de México posee una masa total de unas 3 megatoneladas.

La Gran Pirámide de Egipto tiene una masa estimada en unas 6,3 megatoneladas, casi 800 veces la masa de la Torre Eiffel, y 12,3 veces la masa del mayor navio que flote en el mar.

ESCALÓN 21

10 000 000 000 de kilogramos (10^{10} kg)
10 megatoneladas (10^{1} Mt)

La población de Estados Unidos alcanza una masa total de unas 10 megatoneladas. El «Grand Coulee Dam», sobre el río Columbia, en el Estado de Washington, necesitó emplear una masa de 19,5 megatoneladas de hormigón, que es tres veces la masa de la Gran Pirámide y casi dos veces la masa total de los habitantes de Estados Unidos.

ESCALÓN 22

31 600 000 000 de kilogramos ($10^{10,5}$ kg)
31,6 megatoneladas ($10^{1,5}$ Mt)

La población de la India tiene una masa total de unas 30 megatoneladas, ó 1,5 veces la masa de hormigón de la presa «Grand Coulee».

Si consideramos la porción de la atmósfera de la Tierra que reposa sobre Estados Unidos, la misma contiene 31,6 megatoneladas del raro gas noble xenón.

ESCALÓN 23

100 000 000 000 de kilogramos (10^{11} kg)
100 megatoneladas (10^{2} Mt)

La población de Asia alcanza una masa total de unas 100 megatoneladas, cinco veces la masa de hormigón de la presa «Grand Coulee».

Los tipos más raros de átomos estables en la Tierra son el helio-3 y el xenón-126; se encuentran sólo en la atmósfera y forman una pequeña porción de la masa total de unos gases (también raros), cuyas variedades son: el helio y el xenón. Aún así, la cantidad total de helio-3 en la atmósfera de la Tierra suma unas 100 megatoneladas, mientras que la cantidad de xenón-126 es de unas 200 megatoneladas.

ESCALÓN 24

316 000 000 000 de kilogramos ($10^{11,5}$ kg)
316 megatoneladas ($10^{2,5}$ Mt)

Al alcanzar el ámbito de masa del Escalón 24, hemos rebasado la masa total de la Humanidad. Toda la población de la Tierra, que es en la actualidad de 4 400 000 000 de habitantes, tiene una masa combinada de unas 220 megatoneladas, si contamos la masa media de un ser humano como de 50 kilogramos.

Esto es sólo 11 veces la masa de la presa «Grand Coulee», y podría parecer que la carga de la Humanidad sobre la Tierra no es demasiado grande. A fin de cuentas, la Tierra puede soportar con facilidad once presas del tamaño del «Gran Coulee». Entonces, ¿por qué no soportar con igual facilidad la masa equivalente de carne y sangre humanas?

Sin embargo, hay que considerar la cantidad de recursos consumidos y los desperdicios producidos por la masa humana. Como puede verse, la Humanidad, no es una masa pasiva que descanse sobre la Tierra como la presa «Grand Coulee»; la

Humanidad está comprometida en procedimientos activos que, especialmente en estos tiempos industrializados, suponen un enorme esfuerzo sobre el planeta.

El objeto astronómico más pequeño que ha recibido un nombre es el asteroide Hermes, que se acercó mucho a la Tierra en 1937. Su diámetro se ha estimado en 600 metros, y, dando por supuesto que sea toscamente esférico y que esté compuesto por materiales rocosos, su masa sería algo superior a las 300 megatoneladas.

ESCALÓN 25
1 000 000 000 000 de kilogramos (10^{12} kg)
1 gigatonelada (10^{0} Gt)

En el ámbito de masa del Escalón 25 llegamos al mayor esfuerzo realizado por toda la especie humana para una sola construcción en la Era preindustrial.

En el siglo III a. de J.C., los chinos empezaron a construir una muralla a través de las fronteras del Norte de China, a fin de contener a los nómadas merodeadores de Asia Central. (No pudo contenerlos a ellos, pero sí a sus caballos, sin los cuales, los asaltantes no pudieron hacer ya nada). La Gran Muralla, como se la llama, fue reparada, reforzada y mejorada durante 17 siglos. Acabó teniendo 6,3 megámetros de longitud (contando todas sus ramificaciones y contrafuertes), y en promedio, alcanza los 9 metros de altura y los 10 de grosor.

Esto nos daría una masa total de tal vez 1,5 gigatoneladas, lo cual es 5 veces la del asteroide Hermes, casi 7 veces la masa de toda la especie humana y, aproximadamente, 240 veces la masa de la Gran Pirámide.

Sin embargo, mientras Hermes y la Gran Pirámide tienen masas constantes, la Humanidad, como especie, no las tiene. La masa total de la Humanidad aumenta de un modo firme, y según su actual índice de aumento, en unos 100 años será igual a la de la Gran Muralla. Es dudoso incluso que la Tierra pueda alimentar una masa tan grande de seres humanos como ésta, a menos que se adopte una política demográfica racional, la Humanidad puede enfrentarse con el peor de los desastres antes de que hayan transcurrido muchas décadas.

ESCALÓN 26
3 160 000 000 000 de kilogramos ($10^{12,5}$ kg)
3,16 gigatoneladas ($10^{0,5}$ Gt)

La cantidad total de xenón atmosférico (en todas sus variedades) es igual a unas 2 gigatoneladas, mientras que la de helio es de 3,6 gigatoneladas.

Si el abastecimiento atmosférico de helio fuese todo el que existe en la Tierra, sería una gran desgracia, porque el helio tiene un número de usos importantes en la ciencia y en la tecnología y es irreemplazable, puesto que no existe ninguna otra cosa con sus propiedades. En realidad, 3,6 gigatoneladas parece una gran cosa, al ser 2,4 veces la masa de la Gran Muralla de China; pero se ha de tener en cuenta que la masa está esparcida a través de toda la atmósfera de la Tierra, por lo cual sería imposible concentrar y extraer este helio sin unos gastos prohibitivos.

Afortunadamente, el helio se produce en el transcurso de la desintegración radiactiva del uranio y del torio, por lo cual existen cantidades del mismo atrapadas debajo de tierra, que han debido de irse acumulando durante vastos períodos de tiempo. Pueden

conseguirse grandes suministros a través de algunos pozos que producen, primariamente, gas natural.

ESCALÓN 27
10 000 000 000 000 de kilogramos (10^{13} kg)
10 gigatoneladas (10^{1} Gt)

El asteroide Ícaro tiene un diámetro de unos 1,4 kilómetros. Dando por supuesto que sea toscamente esférico y de naturaleza rocosa, tendría una masa de 8 gigatoneladas.

La capa más externa del sólido globo terrestre es la corteza. Se trata de una capa muy delgada, de sólo 17 kilómetros de grosor en promedio, y es muy pequeña en comparación con el espesor total del Globo. De esta corteza es de la que obtenemos nuestros recursos minerales (en realidad, sólo de la porción superior de la corteza).

Los geólogos han estimado el porcentaje medio de composición de la corteza en términos de los elementos que la componen, y a partir de esto podemos calcular la masa total de los elementos particulares en el interior de dicha corteza. Por ejemplo, entre los elementos sólidos más raros se encuentra el iridio, muy parecido en sus propiedades al más familiar platino. La cantidad total de iridio en la corteza de la Tierra es de unas 24 gigatoneladas.

Esto significa que si pudiésemos conseguir todo el iridio de la corteza (lo cual es muy difícil de llevar a cabo, y en el momento actual algo completamente impracticable), y, con la imaginación, formásemos un asteroide, sería unas tres veces más masivo que Ícaro. Sin embargo, el iridio es más masivo, tamaño por tamaño, que el material del que, probablemente está hecho Ícaro, por lo cual un asteroide de 24 gigatoneladas en masa tendría un diámetro de sólo 1 kilómetro.

ESCALÓN 28
31 600 000 000 000 de kilogramos ($10^{13,5}$ kg)
31,6 gigatoneladas ($10^{1,5}$ Gt)

La cantidad total de helio en la corteza de la Tierra puede alcanzar una masa de 72 gigatoneladas, ó 20 veces la cantidad de helio que hay en la atmósfera de la Tierra. Esto deja claro por qué la corteza es un mejor recurso en helio que el aire, sobre todo si se tiene en cuenta que el helio, en el aire, se extiende al azar, mientras que en la corteza tiende a concentrarse con rapidez en los lugares donde se localizan las menas de uranio y de torio.

El helio se pierde constantemente en la atmósfera como gas natural, se explota y se quema, e incluso cuando se extrae y se emplea, llegado el momento se pierde en la atmósfera y luego en el espacio exterior.

El helio es un recurso que la Tierra puede realmente *perder*. No hay una exacta manera de usarlo y luego arrojarlo en montones de basura o cloacas, de donde pueda ser concebiblemente recuperado; o convertirlo químicamente en unas formas en que pueda también concebiblemente ser invertido. El helio se pierde lentamente hacia el espacio exterior, y recuperar el mismo es ya harina de otro costal.

ESCALÓN 29
100 000 000 000 000 de kilogramos (10^{14} kg)
100 gigatoneladas (10^{2} Gt)

La cantidad total de oro que hay en la corteza de la Tierra es de unas 120 gigatoneladas. La cantidad total de platino es, más o menos, la misma. Todo este oro, a los precios corrientes del mercado, tendría un valor de 250 billones de dólares, y sería suficiente para pagar la deuda nacional norteamericana doscientas cincuenta veces.

Aquí hay dos trampas: En primer lugar, es del todo imposible conseguir más de una pequeña fracción del oro distribuido a través de la corteza terrestre. En toda la historia de la minería del oro, sólo se ha extraído una millonésima parte del posible abastecimiento total. En segundo lugar, la razón principal de que el oro sea tan valioso, es precisamente su rareza. Si todo el oro de la corteza estuviese disponible, el precio del mismo caería virtualmente a cero.

ESCALÓN 30
316 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{14,5}$ kg)
316 gigatoneladas ($10^{2,5}$ Gt)

El uranio, tal y como se presenta en la Naturaleza, consiste en dos variedades o «isótopos», de las cuales la menos común es el uranio-235, que es particularmente importante porque se somete con facilidad a la fisión inducida del neutrón y, en consecuencia, es el combustible fundamental tanto para las bombas como para la energía nuclear de uso pacífico. La cantidad total de uranio-235 en la corteza de la Tierra es de unas 345 gigatoneladas.

Leda, el más pequeño de los satélites exteriores de Júpiter, puede hallarse también en este ámbito de masa.

ESCALÓN 31
1 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{15} kg)
1 teratonelada (10^{0} Tt)

Nos encontramos ahora en el ámbito de la teratonelada. Deimos, el satélite exterior y más pequeño de Marte, tiene una masa de unas 1,5 teratoneladas, o casi 200 veces la masa de Ícaro.

Esto es aún pequeño a la escala terrestre. El dióxido de carbono es un constituyente menor de la atmósfera de la Tierra y forma sólo 3,2 partes por diez mil. Aun así, la cantidad total de dióxido de carbono en la atmósfera de la Tierra es de unas 2,5 teratoneladas, 1,7 veces la masa de Deimos. El dióxido de carbono atmosférico es casi igual a la cantidad de plata que hay en la corteza de la Tierra.

ESCALÓN 32

3 160 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{15,5}$ kg)
3,16 teratoneladas ($10^{0,5}$ Tt)

La cantidad total de antimonio en la corteza terrestre es de unas 5 teratoneladas. Ésta es también, aproximadamente, la masa total de Eros, el mayor y mejor conocido de los asteroides que rozan la Tierra.

ESCALÓN 33

10 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{16} kg)
10 teratoneladas (10^{1} Tt)

El más interior de los satélites de Marte, Fobos, tiene unas 10 teratoneladas de masa, o sea, que se halla exactamente en el ámbito de masa del Escalón 33.

Fobos es un trozo de roca de unos 22 kilómetros de diámetro en promedio. Compárese con la atmósfera marciana, que es sólo 1/200 tan masiva como la de la Tierra, cantidad por cantidad. Y, lo que es más, la atmósfera marciana está extendida por una zona que sólo es un tercio de aquella sobre la que se esparce en la Tierra. Incluso así, la masa de la atmósfera de Marte es de unas 22 teratoneladas, o, exactamente, unas dos veces la de Fobos y Deimos juntos.

Echemos ahora un último vistazo a la vida. La masa de todas las cosas vivientes en la Tierra (la biosfera) se estima, más bien de forma vacilante, que asciende a unas 17 teratoneladas. Ello equivale a cerca de 80 000 veces la masa total de la Humanidad.

Esto parece algo así como si los seres humanos ocuparan muy poco lugar entre la vida sobre la Tierra; por el contrario, ninguna gran especie, durante toda la historia de la Tierra, ha constituido una fracción tan grande respecto a la masa total de la vida. Según la tasa a la que la población humana está aumentando hoy (y manteniendo dicha tasa), en 650 años, la masa de la Humanidad sería igual a la cantidad total de vida presente en la actualidad.

ESCALÓN 34

31 600 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{16,5}$ kg)
31,6 teratoneladas ($10^{1,5}$ Tt)

La cantidad total de tungsteno (el metal con el que hacemos los filamentos de las bombillas eléctricas, también llamado volframio) en la corteza de la Tierra es igual a unas 24 teratoneladas.

El océano es casi enteramente agua, la cual está compuesta de hidrógeno y oxígeno. De éstos, el hidrógeno constituye una novena parte de la masa, y casi todo en forma de isótopo hidrógeno-1. Una pequeña fracción (aproximadamente 1 de cada 7 000) está compuesta de hidrógeno-2, o «deuterio». La cantidad total de deuterio en el océano es de 21,6 teratoneladas, aproximadamente igual a la cantidad total del tungsteno existente en la corteza terrestre.

Sin embargo, mientras que sólo una pequeña porción del tungsteno puede extraerse de la corteza, será posible extraer del océano (a su tiempo) la mayor parte del deuterio sin demasiados problemas. En vista de que pueden conseguirse enormes cantidades de energía de la fusión nuclear del deuterio (una vez que se elabore el método adecuado

para producir y controlar la energía), los océanos nos ofrecerían una fuente de energía que duraría miles de millones de años.

En contraste, la cantidad de uranio (de ambas variedades) en la corteza de la Tierra es de más de 48 teratoneladas, más de dos veces la cantidad de deuterio en los océanos, y todo ello puede usarse como energía en reactores de alimentación. No obstante, masa por masa, es posible obtener una energía considerablemente mayor a partir del deuterio que del uranio, y el deuterio puede conseguirse con una facilidad *mucho* mayor. El deuterio sigue siendo la mejor fuente de energía, al menos potencialmente.

La masa de argón en la atmósfera de la Tierra asciende a un total de 66 teratoneladas. Es, con mucho, el más común de los gases nobles, desacostumbradamente común, ya que un isótopo del elemento potasio (potasio-40) lleva a cabo una lenta escisión radiactiva, dando argón-40 entre sus productos de escisión. Este argón se libera lentamente desde el suelo hasta la atmósfera, donde se ha ido acumulando a través de la historia de la Tierra.

La cantidad total de potasio-40 que se encuentra hoy en la corteza terrestre es de unas 74 teratoneladas, por lo cual cuando la Tierra tenga varios miles de millones de años más, se habrá duplicado la cantidad de argón en la atmósfera.

ESCALÓN 35
100 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{17} kg)
100 teratoneladas (10^{2} Tt)

La cantidad de torio que hay en la corteza de la Tierra es de unas 240 teratoneladas. Esto equivale a unas cinco veces la masa de uranio presente en la corteza y, dado que el torio también puede servir como combustible básico para la fisión nuclear, ello aumenta el potencial de fisión como fuente energética.

ESCALÓN 36
316 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{17,5}$ kg)
316 teratoneladas ($10^{2,5}$ Tt)

Una masa del Escalón 36 representa casi exactamente la cantidad total de material potencialmente fisionable en la corteza terrestre.

En este ámbito de masa casi hemos alcanzado ya la cantidad de agua dulce líquida que hay en la Tierra; el agua de lagos, arroyos, ríos, torrentes y pozos, la única clase de agua que puede usarse directamente para beber, cocinar, lavarse, así como para la agricultura y la industria. El total asciende a unas 500 teratoneladas.

Esto podría parecer suficiente, puesto que representa 100 kilotoneladas para cada persona. Sin embargo, esta agua no está distribuida de modo uniforme, y así, mientras algunas porciones de la Tierra habitada poseen suficiente agua dulce líquida, e incluso a veces más que suficiente, otras porciones padecen una carestía crónica de la misma. Por otra parte, el agua dulce líquida se va contaminando cada vez más a causa del poco cuidado e indiferencia del hombre, por lo que tal vez no transcurra mucho tiempo sin que el mundo tenga que enfrentarse con una grave carestía de este recurso absolutamente vital.

ESCALÓN 37
1 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{18} kg)
1 petatonelada (10^{0} Pt)

En el ámbito de la petatonelada alcanzamos ahora los componentes principales de la atmósfera. La masa total del oxígeno atmosférico es de 1,19 petatoneladas. Ésta es también la masa de Himalia, el mayor de los satélites exteriores de Júpiter.

ESCALÓN 38
3 160 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{18,5}$ kg)
3,16 petatoneladas ($10^{0,5}$ Pt)

La masa total de nitrógeno que contiene nuestra atmósfera es de 3,88 petatoneladas. Se trata del componente mayor de la atmósfera, pues constituye las tres cuartas partes de su masa. La masa total de la atmósfera de la Tierra es de 5,136 petatoneladas. Esto, *grosso modo,* equivale a la masa total de cromo que hay en la corteza terrestre.

ESCALÓN 39
10 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{19} kg)
10 petatoneladas (10^{1} Pt)

La masa total de hielo que hay en la Tierra es de unas 22,8 petatoneladas. El hielo es agua dulce congelada y, si se derritiese, se añadiría de una forma sustancial a los abastecimientos de agua dulce del mundo, puesto que la masa total de hielo sobre la superficie terrestre es de unas 45 veces la del agua dulce líquida. Sin embargo, en conjunto, el hielo no es muy accesible. Casi las nueve décimas partes del mismo (20 petatoneladas) constituyen la vasta extensión de hielo que recubre la Antártida, y la mayor parte del resto lo forma la capa de hielo más pequeña que recubre Groenlandia.

La cantidad total de azufre en la corteza terrestre es de 12,5 petatoneladas, sólo unos cinco octavos de la masa de hielo de la Antártida.

ESCALÓN 40
31 600 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{19,5}$ kg)
31,6 petatoneladas ($10^{1,5}$ Pt)

En este ámbito de masa empezamos ya a alcanzar los asteroides mayores y los satélites de tamaño medio. Así, Miranda, el más interior y más pequeño de los satélites de Urano, tiene una masa de unas 34 petatoneladas, mientras que Mimas, el satélite más interior y mayor de Saturno, posee una masa de unas 37 petatoneladas. El mayor asteroide, Davida, con sus 260 kilómetros de diámetro, tiene una masa de unas 30 petatoneladas.

Toda la materia sólida disuelta en los océanos de la Tierra (la cual, en su porción más importante, es sal común) tiene una masa de 47 petatoneladas. En otras palabras: si los sólidos oceánicos se reuniesen en una masa esférica, tendrían unos 340 kilómetros de diámetro y formarían un asteroide casi tan grande como el mayor existente en la actualidad.

ESCALÓN 41
100 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{20} kg)
100 petatoneladas (10^{2} Pt)

Recuerdo haber visto un programa televisivo de ciencia-ficción, en el cual unos colonos de la Luna tienen escasez del «metal raro» titanio. Pasaban enormes dificultades para encontrar la pequeña cantidad que necesitaban del mismo.

No pude por menos de mover tristemente la cabeza. Hoy el titanio es el noveno elemento más común en la corteza terrestre, y la corteza de la Luna es aún más rica en el mismo. La corteza de la Tierra contiene, aproximadamente, unas 100 petatoneladas de titanio.

Encélado, el satélite de Saturno, que se encuentra más allá de Mimas, posee una masa de unas 74 petatoneladas, por lo cual en la corteza terrestre hay el titanio suficiente para formar un satélite 1,3 veces tan masivo como Encélado.

ESCALÓN 42
316 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{20,5}$ kg)
316 petatoneladas ($10^{2,5}$ Pt)

La cantidad total de magnesio en la corteza terrestre —cuyo elemento mas común es— se eleva a las 500 petatoneladas. En comparación con esto, Tetis, uno de los satélites de Saturno, tiene una masa de 626 petatoneladas.

La atmósfera de Venus es mucho más densa que la de la Tierra y, en total, posee una masa de 417 petatoneladas, más de 81 veces la terrestre.

ESCALÓN 43
1 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{21} kg)
1 exatonelada (10^{0} Et)

En el ámbito de masa del Escalón 43 hemos llegado casi a la masa de agua que hay en los océanos, y que es de unas 1,3 exatoneladas.

Los océanos no contienen toda la provisión de agua de la Tierra. Tenemos, además, la de los casquetes de hielo, el agua dulce líquida e incluso el vapor de agua de la atmósfera. Si se suma todo esto, el total de existencias de agua de la Tierra, o «hidrosfera», tiene una masa de 1,37 exatoneladas. Ésta es una masa muy superior a la de Titania, el mayor de los satélites de Urano, que posee una masa de 1,2 exatoneladas aproximadamente. Y, lo que es más, Ceres, el mayor asteroide, tiene una masa de sólo 1 exatonelada, menos de las tres cuartas partes del total de provisión de agua de la Tierra.

Si toda el agua de la Tierra se recogiese en una enorme esfera, ésta tendría 1,4 megámetros de diámetro. Si semejante esfera girase en torno a la Tierra, a una distancia de 150 megámetros (cinco octavos de la distancia a la Luna), parecería tan grande como la Luna en nuestro firmamento.

El hierro es el cuarto elemento más corriente en la corteza terrestre. Todo el hierro de la corteza de la Tierra tiene una masa de 1,2 exatoneladas.

ESCALÓN 44

3 160 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{21,5}$ kg)
3,16 exatoneladas ($10^{0,5}$ Et)

El aluminio es el tercer elemento más común en la corteza terrestre y el metal más corriente. La masa total de aluminio en la corteza equivale a unas 2 exatoneladas.

La masa de Rea, el segundo satélite mayor de Saturno, se estima en unas 2,3 exatoneladas.

ESCALÓN 45

10 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{22} kg)
10 exatoneladas (10^{1} Et)

El silicio es el segundo elemento más común en la corteza terrestre. La masa total de silicio en la corteza de la Tierra equivale a unas 6,6 teratoneladas. El único elemento más común es el oxígeno, que no se halla presente en la corteza en forma gaseosa, naturalmente, sino combinado con el silicio y los distintos metales para formar los «silicatos» pétreos que constituyen la corteza. La masa total del oxígeno en la corteza es de unas 11,2 exatoneladas.

ESCALÓN 46

31 600 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{22,5}$ kg)
31,6 exatoneladas ($10^{1,5}$ Et)

La masa total de la corteza terrestre es de 24 exatoneladas. Si se añade a la masa del océano y de la atmósfera, se llega a más de 25,5 exatoneladas, no muy lejos de la masa del Escalón 46.

Nos encontramos ahora en el ámbito de los satélites gigantes. Europa, el menor de los cuatro satélites mayores de Júpiter, posee una masa de 48,73 exatoneladas, exactamente casi dos veces la de la corteza terrestre. Tritón, el mayor satélite de Neptuno, tiene una masa estimada de 57 exatoneladas.

ESCALÓN 47

100 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{23} kg)
100 exatoneladas (10^{2} Et)

Nos encontramos ahora a mitad de camino de los satélites gigantes. En realidad, la masa del Escalón 47 supera en algo la de nuestra Luna, que tiene una masa de 73,5 exatoneladas. Ío, el más interior de los satélites galileanos, posee una masa de 89,16 exatoneladas. Los tres satélites más masivos del Sistema Solar —Calisto, Titán y Ganimedes— tienen unas masas, respectivamente, de 107, 136 y 149 exatoneladas. En efecto el más masivo de todos los satélites conocidos, Ganimedes, tiene una masa de dos veces la de nuestra Luna.

Dado que hemos rebasado la masa de la corteza terrestre, hemos de empezar a considerar todo el planeta. Calcular la masa de los diferentes elementos de la Tierra, tomada como un todo, constituye un procedimiento inseguro, y sus resultados son muy provisionales. No obstante, si nos basamos en lo mejor que podemos hacer, cabe decir

que la masa total de azufre en la Tierra es de unas 160 exatoneladas. En otras palabras, constituiría una esfera de mayor masa que la de Ganimedes.

ESCALÓN 48

316 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{23,5}$ kg)
316 exatoneladas ($10^{2,5}$ Et)

Aunque Mercurio es el menor de los planetas y tiene incluso un diámetro más pequeño que el de Ganimedes, por ejemplo, está constituido por materiales más densos que los que forman Ganimedes. Mercurio tiene una masa de 331 exatoneladas, o poco más allá del nivel del Escalón 48. Mercurio, pues, es casi 2 1/4 veces tan masivo como Ganimedes.

ESCALÓN 49

1 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{24} kg)
1 000 exatoneladas (10^3 Et)
(13,6 LN)

Ya hemos agotado los prefijos aceptados por la versión SI del sistema métrico. Para evitar el empleo de cifras demasiado grandes, adoptaremos la masa de la Luna (LN) como una unidad adicional, aunque quiero seguir también relacionando las exatoneladas, mientras continuamos subiendo por la escalera de la masa. Así, 1 000 exatoneladas es una masa que equivale casi exactamente a 13,6 veces la de la Luna (13,6 LN).

Marte, el segundo menor de los planetas, posee una masa de 642 exatoneladas (muy por debajo de la masa del Escalón 49), y equivale a 8,73 veces la masa de la Luna (8,73 LN), o casi dos veces la masa de Mercurio.

La Tierra está dividida en dos regiones principales. En su mismo centro, se cree que existe un núcleo metálico, ampliamente fundido, compuesto por hierro y níquel, en una proporción de diez a uno. Este núcleo tiene una masa de unas 1 875 exatoneladas (25,5 LN). Por tanto, el núcleo de la Tierra es tres veces tan masivo como todo Marte. En torno al núcleo hay un «manto» rocoso, considerablemente más masivo que el núcleo. Juntos, el núcleo y el manto constituyen el 99,6 por 100 de la Tierra, y el restante 0,4 por 100 pertenece a la corteza, los océanos y la atmósfera.

El hierro constituye no sólo la porción mayor del núcleo de la Tierra, sino que está representado también en el manto y en la corteza. La cantidad de hierro que hay en la Tierra asciende a 2 115 exatoneladas (28,8 LN), ó 3,3 veces la masa de Marte.

ESCALÓN 50

3 160 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{24,5}$ kg)
3 160 exatoneladas ($10^{3,5}$ Et)
(43 LN)

El manto de la Tierra, que constituye las dos terceras partes de la masa terrestre, tiene una masa de unas 4 080 exatoneladas (55,5 LN).

ESCALÓN 51
10 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{25} kg)
10 000 exatoneladas (10^4 Et)
(136 LN ó 1,67 TI)

A este nivel hemos rebasado finalmente a toda la Tierra, que posee una masa de 5 976 exatoneladas (81,3 LN). El nivel del Escalón 51, de 10 000 exatoneladas, representa una masa de 1,67 veces la de la Tierra, y podemos denominarla 1,67 TI. Por tanto, a partir de ahora, tomaremos la Tierra en vez de la Luna para las comparaciones.

Por ejemplo, Venus tiene una masa de 4 870 exatoneladas (0,815 TI) y, por ende, es sólo cinco sextas partes tan masiva como la Tierra. En realidad, todo el planeta Venus es sólo 1,2 veces tan masivo como el manto de la Tierra.

Si tomamos juntas la masa de la Tierra y la de Venus, dicha masa asciende a 10 846 exatoneladas (1,815 TI), que rebasa el ámbito de masa del Nivel 51.

En realidad, si tomamos todos los mundos del Sistema Solar interior —Mercurio, Venus, la Tierra, la Luna, Marte, además de los pequeños mundos, tales como los satélites marcianos, los asteroides ocasionales, los meteoroides y los cometas—, la masa total asciende a unas 11 900 exatoneladas (1,99 TI). En otras palabras, nuestro planeta, la Tierra, tiene una sustancia casi exactamente la mitad de toda la masa del Sistema Solar interior (puesto que, naturalmente, no contamos el Sol).

Supongamos ahora que tomamos *todo* el Sistema Solar, excepto el Sol y los cuatro planetas gigantes. La masa total de los planetas menores, más todos los satélites, asteroides, cometas y restos variados del Sistema Solar, asciende tal vez a unas 12 500 exatoneladas (2,09 TI). Los objetos adicionales menores del Sistema Solar exterior añadirían una masa igual a una décima parte de la de la Tierra, o a unas ocho veces la de la Luna.

Si dejamos fuera el Sol y los cuatro planetas gigantes, el 47,8 por 100 de la materia del Sistema Solar se halla concentrada en la Tierra y en Venus.

ESCALÓN 52
31 600 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{25,5}$ kg)
31 600 exatoneladas ($10^{4,5}$ Et)
(5,27 TI)

Por primera vez nos encontramos a un nivel de masa que no puede ser ejemplificado con facilidad. No hay objetos ni simples combinaciones de objetos en el Sistema Solar que se acerquen a una masa igual a 5 1/4 veces la de la Tierra. No hay estructuras de objetos considerablemente más masivos que la Tierra, tan bien conocidos como para poderlos tomar con cierta facilidad en una porción expresada de los mismos para nuestros propósitos. Puede haber objetos en el exterior del Sistema Solar que se hallen en este ámbito de masa (planetas que giren en torno a otras estrellas, por ejemplo), pero no conocemos ninguno de ellos. Por tanto, deberemos seguir adelante [2].

---

[2] En 1983, el satélite IRAS (*Infrared Astronomical Satellite*) ha descubierto un anillo de materia alrededor de Vega, la tercera estrella de magnitud más brillante del firmamento, que podría constituir un sistema de planetas similar al solar, aunque en un momento diferente de evolución. Los científicos de la NASA están trabajando con ahínco para poder llegar a una confirmación de tan relevante descubrimiento. *N. del T.*

ESCALÓN 53
100 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{26} kg)
100 000 exatoneladas (10^{5} Et)
(16,7 TI)

Ahora avanzamos en el reino de los cuatro planetas gigantes. El menor de los mismos es Urano, el cual posee una masa de 86 900 exatoneladas (14,54 TI), y se halla algo por debajo del nivel de masa del Escalón 53. Neptuno, con una masa de unas 103 000 exatoneladas (17,23 TI), está algo por encima.

ESCALÓN 54
316 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{26,5}$ kg)
316 000 exatoneladas ($10^{5,5}$ Et)
(52,7 TI)

La masa unida de Urano y Neptuno, junto con la de la Tierra, Venus y los restantes cuerpos menores del Sistema Solar, asciende a unas 202 000 exatoneladas (38,86 TI). Ésta es la masa total del Sistema Solar, si se le restan el Sol, Júpiter y Saturno, y aún se halla a sólo dos tercios del nivel de masa del Escalón 54. En este estadio, el 93,8 por 100 de toda la masa se encuentra en Neptuno y Urano, mientras que el restante 6,2 por 100 se halla en la Tierra, Venus y los cuerpos menores.

Por sí solo, Neptuno tiene tanta masa como todos los cuerpos del Sistema Solar menores que él, incluyendo Urano.

ESCALÓN 55
1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{27} kg)
1 000 000 de exatoneladas (10^{6} Et)
(167 TI)

Saturno, el segundo mayor planeta, posee una masa de unas 570 000 exatoneladas (95,15 TI), la cual es exactamente unas tres veces la masa de Urano y Neptuno juntos, pero aún queda muy corta en relación con el nivel de masa del Escalón 55.

Si se añaden Saturno y los objetos del Sistema Solar más pequeños que el mismo, la masa total es de 771 000 exatoneladas (129 TI), lo cual se halla aún sólo a las tres cuartas partes del nivel del Escalón 55. Si se excluyen el Sol y Júpiter, Saturno posee las tres cuartas partes de la masa total del resto del Sistema Solar.

ESCALÓN 56
3 160 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{27,5}$ kg)
3 160 000 exatoneladas ($10^{6,5}$ Et)
(527 TI ó l,66 JU)

El planeta mayor, Júpiter, posee una masa de unas 1 900 000 exatoneladas (317,9 TI). Por tanto, el nivel de masa del Escalón 56 es igual a 1,66 veces la masa de Júpiter (1,66 JU).

El conjunto del Sistema Solar, excepto el propio Sol, tiene una masa de 2 670 000 exatoneladas (1,4 JU). Júpiter, pues, contiene el 71 por 100 de toda la masa del Sistema

Solar, excluyendo al Sol. Los cuatro planetas gigantes juntos constituyen el 99,5 por 100 de la masa del Sistema Solar, excluyendo al Sol. Por esta razón, si unos visitantes extraterrestres divisasen desde lejos nuestro Sistema Solar, podrían escribir en sus informes que el Sol está rodeado por cuatro planetas, más algunos restos.

ESCALÓN 57
10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{28} kg)
10 000 000 de exatoneladas (10^{7} Et)
(5,25 JU)

Cinco escalones atrás no teníamos nada que pudiese representar una masa unas cinco veces mayor que la de la Tierra; ahora no encontramos nada conocido que pueda representar una masa de unas cinco veces la de Júpiter.

Sin embargo, aquí tenemos indicios de algo.

Los astrónomos han buscado alguna indicación de que las estrellas, aparte nuestro Sol, tuviesen unos sistemas planetarios propios. Parece ridículo suponer que no los tengan y que nuestro Sol sea el único que los posea entre tantas otras estrellas, pero sería estupendo poder conseguir una prueba directa de sistemas planetarios extrasolares.

Hasta ahora, lo mejor que los astrónomos pueden hacer es estudiar las estrellas cuya trayectoria a través del espacio quede levemente perturbada a causa de la atracción gravitatoria de algún planeta que girase a su alrededor. Esto sería algo detectable si la estrella fuese pequeña, el planeta grande y ambos se encontrasen relativamente cerca de la Tierra.

Algunas pequeñas estrellas próximas han presentado fluctuaciones casi en el límite de la visibilidad, y existe una posibilidad de que esto suponga haber detectado la existencia de tales planetas extrasolares. En algunos casos se ha estimado que el planeta detectado tiene una masa igual a unos 15 000 000 de exatoneladas (8 JU). Si fuese así, semejantes Superjupíteres extrasolares serían objetos que se hallarían más allá del nivel de masa del Escalón 57.

ESCALÓN 58
31 600 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{28,5}$ kg)
31 600 000 exatoneladas ($10^{7,5}$ Et)
(16,6 JU)

Cuanto más masa tiene un objeto, tanto más caliente se encuentra su núcleo y mayores son en él las presiones. Júpiter no es lo suficientemente masivo como para poseer las presiones y temperaturas centrales necesarias para conseguir la ignición de la fusión nuclear y hacer que el planeta brille como una estrella. Tal vez ni siquiera los Superjupíteres que giren en torno a otras estrellas, sean lo bastante grandes.

Sin embargo, en algún nivel de masa no mucho más elevado que el de Júpiter, un objeto podría graduarse hasta el nivel de una estrella. Constituye una buena oportunidad el hecho de que el nivel de masa del Escalón 58 esté en la línea divisoria entre los planetas y las estrellas o cerca de la misma. Sin embargo, no tenemos claros ejemplos de objetos de este nivel.

Esto no es sorprendente. Si se pusiera en ignición un objeto con una masa a dicho nivel, sería de un apagado color rojo. Brillaría débilmente y apenas sería visible, aunque estuviese muy cerca de nosotros (a distancias estelares, como es natural).

ESCALÓN 59

100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{29} kg)
100 000 000 de exatoneladas (10^{8} Et)
(52,3 JU)

A este nivel pueden haber estrellas visibles. Por lo menos hay una tenue estrella roja que aparece en los catálogos como Luyten 726-8 B, y es posible que no tenga una masa superior a los 75 000 000 de exatoneladas (40 JU).

ESCALÓN 60

316 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{29,5}$ kg)
316 000 000 de exatoneladas ($10^{8,5}$ Et)
(166 JU)

Aquí hemos avanzado hasta el nivel de las estrellas inconfundibles. La estrella más cercana de todas, Próxima del Centauro, es una tenue estrella roja con una masa de tal vez 430 000 000 de exatoneladas (230 JU).

Presumiblemente, Próxima del Centauro constituye una parte del sistema de Alfa del Centauro, junto con dos estrellas brillantes, Alfa del Centauro A y Alfa del Centauro B. La estrella más cercana, y que no forma parte de ese sistema, es la Estrella Barnard, la cual debe de tener una masa de 430 000 000 de exatoneladas (230 JU).

ESCALÓN 61

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{30} kg)
1 000 000 000 de exatoneladas (10^{9} Et)
(525 JU)

Ahora podemos ya abordar las estrellas más bien brillantes. La estrella 61 del Cisne B forma parte de un sistema de dos estrellas; la otra es la más brillante 61 del Cisne A. Ambas fueron las primeras estrellas cuya distancia se determinó. 61 del Cisne B tiene una masa de 1 300 000 000 de exatoneladas (680 JU), mientras que la masa de 61 del Cisne B es de 1 400 000 000 de exatoneladas (730 JU).

ESCALÓN 62

3 160 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{30,5}$ kg)
3 160 000 000 de exatoneladas ($10^{9,5}$ Et)
(1 660 JU ó 1,58 SO)

Las dos estrellas del sistema 61 del Cisne, juntas, poseen una masa de 2 700 000 000 de exatoneladas (1 410 JU), y, como sistema, se encuentra cerca del nivel de masa del Escalón 62.

Aquí es donde, finalmente, rebasamos la masa del Sol. Éste posee una masa de 1 989 000 000 de exatoneladas (1 047 JU). El nivel de masa del Escalón 62, de

3 160 000 000 de exatoneladas, es igual a 1,58 veces el del Sol (ó 1,58 SO), por lo cual cambiaremos aquí de Júpiter al Sol como referencia de masa.

El Sol, con su masa de 1 047 JU, posee una masa unas 750 veces mayor que la de toda la materia planetaria (incluyendo a Júpiter) que lo rodea. Equivale al 99,9 por 100 de la masa de todo el Sistema Solar. No es extraño que resulte difícil detectar los planetas que giran en torno a otras estrellas, si existe algo parecido a esta desproporción en el caso general de las estrellas (y tal vez sea así). La situación se hace aún peor debido al hecho de que los planetas están muy cerca de las estrellas, y brillan sólo a causa de la luz reflejada, por lo cual es mucho más apagada que la de las estrellas en torno a las que giran.

Alfa del Centauro A tiene una masa casi exactamente igual a la del Sol. Las tres estrellas del sistema Alfa del Centauro tienen una masa total inferior a los 4 000 000 000 de exatoneladas (2 SO).

La estrella enana blanca Sirio B, que gira en torno a Sirio, posee una masa también casi exactamente igual a la del Sol, aunque su diámetro y su volumen son sustancialmente menores que los de la Tierra.

ESCALÓN 63

10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{31} kg)
10 000 000 000 de exatoneladas (10^{10} Et)
(5 SO)

Al llegar aquí nos encontramos ya más allá del Sol. La brillante estrella Sirio tiene una masa aproximadamente de 5 000 000 000 de exatoneladas (2,5 SO). Si se añade a esto su estrella compañera, Sirio B, la masa total del sistema es de 7 000 000 000 de exatoneladas (3,5 SO), lo cual se halla aún bastante por debajo del nivel de masa del Escalón 63. Para una sola estrella con una masa en el ámbito del Escalón 63, podemos citar la brillante estrella Achernar.

ESCALÓN 64

31 600 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{31,5}$ kg)
31 600 000 000 de exatoneladas ($10^{10,5}$ Et)
(15,8 SO)

Aunque haya estrellas rojas gigantes con enormes volúmenes, que ya hemos mencionado en la escala ascendente del volumen, tales volúmenes consisten, casi por completo, en un gas muy poco consistente. La masa total no aumenta, por más que aumenten pequeñas fracciones del volumen.

Las estrellas en el nivel de masa del Escalón 64 son casi tan masivas como es posible, puesto que, cuanto más masiva sea una estrella, más caliente ha de ser para mantener su volumen en expansión contra la creciente atracción gravitacional hacia dentro. Si las estrellas son aún más masivas no puede mantenerse el equilibrio necesario entre el calor interno y la atracción gravitacional, y la estrella estalla o se desinfla, o ambas cosas.

En el nivel de masa del Escalón 64, encontramos las estrellas de la «clase espectral O», las más calientes, las más brillantes y las de vida más corta (por lo menos, de vida corta en el sentido de una estrella que brille con firmeza y que perteneciese al tipo del

Sol). Sólo una estrella entre diez millones pertenece a este tipo, y tal vez haya sólo unas cuantas decenas de millares de las mismas en toda la Galaxia.

ESCALÓN 65

100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{32} kg)
100 000 000 000 de exatoneladas (10^{11} Et)
(50 SO)

Se cree que las estrellas más masivas son una pareja (estrellas Plaskett, llamadas así por su descubridor), que giran una en torno a la otra y cada una de las cuales tiene 140 000 000 000 de exatoneladas de masa (70 SO). Deben de existir estrellas más masivas aún, pero su realidad no se ha establecido aún de una forma definida por completo.

ESCALÓN 66

316 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{32,5}$ kg)
316 000 000 000 de exatoneladas ($10^{11,5}$ Et)
(158 SO)

En el nivel de masa del Escalón 66 hemos dejado atrás las estrellas individuales, y a partir de aquí sólo podemos hablar de sistemas estelares. Por ejemplo, la binaria Plaskett tiene una masa total de 280 000 000 000 de exatoneladas (140 SO). También podemos hablar de enjambres abiertos, de asociaciones de numerosas estrellas unidas gravitacionalmente, pero no de una forma muy próxima. Un enjambre abierto, como el de las Pléyades, puede tener una masa total de 400 000 000 000 de exatoneladas (200 SO).

ESCALÓN 67

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{33} kg)
1 000 000 000 000 de exatoneladas (10^{12} Et)
(500 SO)

Las Híades, un enjambre abierto tan grande como las Pléyades (ambos se encuentran en la constelación de Tauro), pueden alcanzar una masa total de 800 000 000 000 de exatoneladas (400 SO).

ESCALÓN 68

3 160 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{33,5}$ kg)
3 160 000 000 000 de exatoneladas ($10^{12,5}$ Et)
(1 580 SO)

Los mayores enjambres abiertos pueden alcanzar masas totales de hasta 4 000 000 000 000 de exatoneladas (unos 2 000 SO).

ESCALÓN 69

10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{34} kg)
10 000 000 000 000 de exatoneladas (10^{13} Et)
(5 000 SO)

Además de los enjambres abiertos, existen «enjambres globulares». Éstos son muchísimo más ricos en estrellas que los enjambres abiertos, y sus estrellas se hallan apretadamente unidas en una estructura globular (de ahí su nombre). Existen unos 125 enjambres globulares conocidos en nuestra Galaxia, aunque sin duda, hay muchos más, ocultos por nubes de polvo. Los enjambres globulares más pequeños llegan a poseer masas totales no muy superiores a los 10 000 000 000 000 de exatoneladas (5 000 SO).

ESCALÓN 70

31 600 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{34,5}$ kg)
31 600 000 000 000 de exatoneladas ($10^{13,5}$ Et)
(15 800 SO)

M71, un pequeño enjambre globular en la constelación de Sagitario, puede tener una masa total de unos 30 000 000 000 000 de exatoneladas (15 000 SO).

ESCALÓN 71

100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{35} kg)
100 000 000 000 000 de exatoneladas (10^{14} Et)
(50 000 SO)

M3, un enjambre globular en la constelación de los Lebreles, puede alcanzar una masa total de unos 120 000 000 000 000 de exatoneladas (60 000 SO).

ESCALÓN 72

316 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{35,5}$ kg)
316 000 000 000 000 de exatoneladas ($10^{14,5}$ Et)
(158 000 SO)

M92, un enjambre globular en la constelación de Hércules, alcanza una masa total de unos 280 000 000 000 000 de exatoneladas (140 000 SO).

ESCALÓN 73

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{36} kg)
1 000 000 000 000 000 de exatoneladas (10^{15} Et)
(500 000 SO)

Los enjambres globulares muy grandes poseen masas totales que se aproximan a los 2 000 000 000 000 000 de exatoneladas (1 000 000 de SO).

Los enjambres globulares se superponen a las galaxias. En general, las galaxias son más masivas que los enjambres globulares, pero las galaxias muy pequeñas son más pequeñas que los mayores enjambres globulares. (Podemos dejarlas aparte, porque los enjambres globulares rodean a las grandes galaxias, mientras que las pequeñas galaxias

se encuentran mucho más independientes y son más sueltas e irregulares en su estructura.) Las galaxias más pequeñas pueden tener masas totales tan pequeñas como de 1 000 000 000 000 000 de exatoneladas (500 000 SO).

ESCALÓN 74

3 160 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{36,5}$ kg)
3 160 000 000 000 000 de exatoneladas ($10^{15,5}$ Et)
(1 580 000 SO)

El sistema León II, una de las galaxias enanas que constituye una parte de nuestro Grupo Local, posee una masa de unos 2 000 000 000 000 000 de exatoneladas (1 000 000 de SO).

ESCALÓN 75

10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{37}kg)
10 000 000 000 000 000 de exatoneladas (10^{16} Et)
(5 000 000 de SO)

El sistema León I, otra galaxia enana de nuestro Grupo Local, alcanza una masa de unos 10 000 000 000 000 000 de exatoneladas (5 000 000 de SO).

ESCALÓN 76

31 600 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{37,5}$ kg)
31 600 000 000 000 000 de exatoneladas ($10^{16,5}$ Et)
(15 800 000 SO)

El sistema del Horno (Fornax), también en nuestro Grupo Local, posee una masa total de unos 24 000 000 000 000 000 de exatoneladas (12 000 000 de SO).

ESCALÓN 77

100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{38} kg)
100 000 000 000 000 000 de exatoneladas (10^{17} Et)
(50 000 000 de SO)

No hay galaxias cercanas a este nivel de masa, pero, indudablemente, debe de haber muchas en el Universo en general.

ESCALÓN 78

316 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{38,5}$ kg)
316 000 000 000 000 000 de exatoneladas ($10^{17,5}$ Et)
(158 000 000 de SO)

La galaxia IC1613 del Grupo Local tiene una masa total de unos 500 000 000 000 000 000 de exatoneladas (250 000 000 de SO).

ESCALÓN 79

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{39} kg)
1 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (10^{18} Et)
(500 000 000 de SO)

Ahora hemos alcanzado el nivel de las galaxias de tamaño medio. La galaxia NGC 147 que pertenece al Grupo Local posee una masa total de unos 2 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (1 000 000 000 de SO).

ESCALÓN 80

3 160 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos $10^{39,5}$ kg)
3 160 000 000 000 000 000 de exatoneladas ($10^{18,5}$ Et)
(1 580 000 000 SO)

La Nube Pequeña de Magallanes tiene una masa total de tal vez 4 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (2 000 000 000 de SO).

ESCALÓN 81

10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{40} kg)
10 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (10^{19} Et)
(5 000 000 000 de SO)

La Nube Mayor de Magallanes, nuestro más cercano vecino entre las galaxias, tiene una masa total de casi 20 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (10 000 000 000 de SO).

ESCALÓN 82

31 600 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{40,5}$ kg)
31 600 000 000 000 000 000 de exatoneladas ($10^{19,5}$ Et)
(15 800 000 000 de SO)

La galaxia conocida con el nombre de M33 posee una masa total de unos 26 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (12 000 000 000 de SO).

ESCALÓN 83

100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{41} kg)
100 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (10^{20} Et)
(50 000 000 000 de SO)

Ahora nos estamos aproximando al ámbito de las galaxias gigantes.

ESCALÓN 84

316 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{41,5}$ kg)
316 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas ($10^{20,5}$ Et)
(158 000 000 000 de SO o 1 VL)

El nivel de masa del Escalón 84 representa casi exactamente la masa aproximada de nuestra galaxia de la Vía Láctea. Es unos 150 000 000 000 de veces tan masiva como nuestro Sol, por lo cual podemos establecer que 316 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas es igual a 1 Vía Láctea, o 1 VL.

ESCALÓN 85

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{42} kg)
1 000 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (10^{21} Et)
(3,16 VL)

Aunque nuestra galaxia de la Vía Láctea sea gigante, no es en absoluto la mayor de todas. En nuestro propio Grupo Local, la galaxia Maffei (llamada así por el astrónomo que la descubrió), posee una masa de unos 410 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (1,3 VL). La mayor galaxia de nuestro Grupo Local es Andrómeda, la cual tiene una masa de unos 730 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (2 VL). Todo el Grupo Local tiene una masa de 1 600 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (6 VL).

ESCALÓN 86

3 160 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{42,5}$)
3 160 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas ($10^{21,5}$ Et)
(10 VL)

Tanto la galaxia de la Vía Láctea como la de Andrómeda son en espiral. Tienen aspecto de ruedas de fuegos artificiales cuando se miran por su lado más ancho, con un núcleo brillante en los brazos en espiral. Las espirales más masivas no son mucho mayores que la galaxia de Andrómeda.

Sin embargo, hay otro grupo, las «galaxias elípticas», que carecen relativamente de forma y que no parecen monstruosos enjambres globulares. Incluyen las galaxias más masivas, y en el ámbito de masa del Escalón 86 hay cierto número de galaxias elípticas.

ESCALÓN 87

10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{43} kg)
10 000 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (10^{22} kg)
(31,6 VL)

La galaxia elíptica M87 tiene 8 000 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (25 VL) de masa, aproximadamente, y ahora nos encontramos también en el ámbito de la masa de los enjambres de galaxias de tipo grande. Un enjambre de la constelación Bootes contiene, por lo menos, 150 galaxias (en vez de las dos docenas que existen en

nuestro Grupo Local), y pueden alcanzar una masa total de unos 10 000 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (30 VL).

ESCALÓN 88

31 600 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{43,5}$ kg)
31 600 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas ($10^{22,5}$ Et)
(100 VL)

La mayor galaxia elíptica conocida puede tener una masa de hasta 20 000 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (60 VL), dos veces el tamaño del mayor enjambre en Bootes, si bien aún se encuentra muy lejos del nivel de masa del Escalón 88. Para alcanzar dicho nivel, se ha de llegar a los enjambres de galaxias. Existe un enjambre en la constelación de Perseo, compuesto por 500 galaxias, que pueden tener, por ejemplo, una masa total en el nivel del Escalón 88.

ESCALÓN 89

100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos (10^{44} kg)
100 000 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (10^{23} Et)
(316 VL)

Aquí consideramos ya los enjambres gigantes de más de un millar de galaxias. Uno de la constelación Virgo, tiene tal vez 2 500 galaxias, con una masa total de unos 150 000 000 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (500 VL).

Más allá del Escalón 89 no hay ejemplos claros de cosas que citar, sino, meramente, más y más enjambres de galaxias y enjambres de enjambres y enjambres de enjambres de enjambres. Saltemos, pues, 18 escalones hasta llegar al...

ESCALÓN 108

316 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de kilogramos ($10^{53,5}$ kg)
316 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas ($10^{32,5}$ Et)
(1000 000 000 000 VL)

Es posible que haya 100 000 millones de galaxias en el Universo. Además, puede haber también masas de otros tipos: halos gaseosos en las galaxias, agujeros negros no detectados, un vasto número de neutrinos que se cree que carecen de masa, pero que, a fin de cuentas, puede demostrarse que sí la tienen. Así pues, tal vez el Universo tenga una masa tan elevada que llegue a los 500 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de exatoneladas (600 000 000 000 de VL). El nivel de la masa del Escalón 108 se encontraría entonces en las proximidades de la probable masa del Universo, según las nociones que hemos reunido hasta la actualidad.

(No obstante, si los neutrinos carecen de masa, y si también nos fallan otras fuentes de masa, como los agujeros negros, el Universo podría tener una masa total que se aproximase al Escalón 107 e incluso al 106.)

Por tanto, y resumiendo, hemos ido desde 1 kilogramo (la masa de la raza de los perros más pequeña) hasta la masa de todo el Universo, en 107 escalones, que cubren 53,5 órdenes de magnitud. Es tiempo, pues, ya de regresar a 1 kilogramo y seguir hacia abajo la escalera de la masa.

LA ESCALERA DE LA MASA
HACIA ABAJO

ESCALÓN 1
1 kilogramo (10^0 kg)

¿Cómo sabemos cuándo tiene algo una masa de 1 kilogramo? Un método consiste en ponerlo en uno de los platillos de una balanza, y colocar en el otro una masa conocida de un kilogramo. El campo gravitatorio de la Tierra atrae ambos platillos, y si la atracción es igual, los platillos se equilibran, sin que ninguno baje más que el otro; así, las dos masas son iguales. En tal caso, la masa desconocida también es igual a 1 kilogramo.

Pero, ¿cómo se sabe que el kilogramo de masa «conocido» tiene en realidad 1 kilogramo de masa? Damos por supuesto que todo se ha equilibrado en relación con una cosa tipo... Pero, ¿cómo sabemos que la medida tiene 1 kilogramo de masa?

El tipo definitivo con el que teóricamente se comparan todas las masas, es un cilindro de platino-iridio (elegido porque esta aleación tiene una tendencia mínima al cambio químico), que se conserva en un suburbio de París.

¿Qué tamaño tiene dicho tipo? Supongamos un cubo de platino-iridio. ¿Cuál sería la longitud de cada lado para que el cubo tuviese una masa de 1 kilogramo? La respuesta es que cada lado del cubo debería tener algo menos de 3,57 centímetros de longitud (ó 1,4 pulgadas de longitud, según las mediciones norteamericanas).

Esto hace que el kilogramo parezca una sorprendentemente pequeña unidad de masa —un cubo metálico que, prácticamente, se puede abarcar con la mano—, considerando que un *quart* norteamericano de leche tiene casi 1 kilogramo.

En la próxima sección nos enfrentaremos con esta aparente paradoja; de momento, empecemos a descender por la escalera de la masa.

ESCALÓN 2
0,316 kilogramos ($10^{-0,5}$ kg)
3,16 hectogramos ($10^{0,5}$ hg)

Un kilogramo tiene 1 000 gramos, y un hectogramo, 100 gramos; por tanto, un kilogramo es igual a 10 hectogramos y, como hemos indicado, 0,316 kilogramos equivale a 3,16 hectogramos.

El hectogramo casi nunca se emplea como unidad, aunque esté permitido usarlo en la versión SI del sistema métrico. Por lo general, si se desea evitar los decimales, se convierte la cantidad en gramos y, en lugar de decir 0,316 kilogramos, se dice 316 gramos.

Una masa de 3,16 hectogramos es igual, de forma muy aproximada, a casi 0,7 libras, u 11,15 onzas, según la medición norteamericana. Sin embargo, en este caso estamos hablando de la libra «avoirdupois» y de la onza « avoirdupois», donde «avoirdupois» procede de una antigua expresión francesa que significa «mercancía de peso», los materiales en los que las libras y las onzas eran empleadas como medida.

Sin embargo, se establecieron en diversos lugares, en los días anteriores al sistema métrico, los propios tipos de masa. Por tanto, había muy diferentes libras y onzas, situación que, si aún persistiese, complicaría de modo interminable el mundo comercial e incluso tal vez lo suprimiría. El sistema métrico nos ha salvado de ello, y nos salvaría aún con mayor eficiencia si no fuera por la larga y sostenida resistencia que oponen al mismo las naciones de habla inglesa (aunque todas, menos Estados Unidos, se han rendido ya al sistema métrico).

Una libra y una onza diferentes de las variedades comunes «avoirdupois», aún en uso en cierta forma, son la libra «troy» y la onza «troy». Mientras que la libra «avoirdupois» es igual a 16 onzas «avoirdupois», la libra «troy» es igual a *12* onzas «troy». (La palabra «troy» no procede de la antigua ciudad de Príamo y Héctor, sino más bien, al parecer, de la ciudad francesa de Troyes, localizada a unos 150 kilómetros al sudeste de París. Durante la Edad Media, en Troyes se celebraron importantes ferias, en las que se realizaban muchas compras y ventas. El sistema «troy» de medidas fue cuidadosamente observado y controlado, para que la gente no se sintiese engañada y siguiese acudiendo a la feria. Por ello, dicho sistema se hizo popular.)

Dado que la libra «avoirdupois» tiene 16 onzas y la libra «troy» equivale a 12 onzas, debería excusarse el creer que la libra «troy» es igual a 3/4 de una libra «avoirdupois». Sin embargo, esto constituye un ejemplo de las dificultades de las mediciones no métricas, porque sólo sería cierto si las onzas fuesen en ambos casos iguales en masa, pero no lo son...

La onza «troy» es casi un 10 por 100 más masiva que la onza «avoirdupois». En realidad, 1 onza «troy» es igual a 1,097 onzas «avoirdupois». Esto significa que 10 onzas «troy» equivalen a 10,97 onzas «avoirdupois», o sea, algo muy próximo a la masa del Escalón 2. En efecto, 3,16 hectogramos equivalen a 10,16 onzas «troy».

Dado que una libra «troy» es igual a 12 onzas «troy», equivale también a 13,164 onzas «avoirdupois», o a 0,82275 (casi cinco sextas partes) de una libra «avoirdupois».

Una libra «avoirdupois» es igual a 4,5359 hectogramos, mientras que una libra «troy» equivale a 3,7324 hectogramos.

En efecto, las libras y onzas «avoirdupois» se emplean exclusivamente para medir la masa de casi cualquier cosa que pueda comprar el cliente norteamericano. Sin embargo, hay algunas cosas que pocas veces compran las personas corrientes, y a las que se aplican mediciones «troy» todos los días. Por ejemplo, la masa del oro se describe en mediciones «troy». Lo mismo cabe decir de las gemas y de los medicamentos vendidos por los farmacéuticos (o boticarios). En realidad, la medida «troy» se llama a veces, en Estados Unidos, «medida de boticario».

Esto explica la antigua adivinanza: «¿Qué pesa más, una libra de plumas o una libra de oro?»

El primer impulso es el de suponer que el oro es más masivo porque es más «pesado» que las plumas. Pero en seguida se advierte que nos referimos a un gran volumen de plumas y a una pequeña cantidad de oro, puesto que ambos tienen de masa «una libra», por lo cual respondemos, triunfalmente, que una libra de plumas y una libra de oro (o de plomo) son iguales en masa.

¡Y nos equivocamos! Se trata de una libra «avoirdupois» de plumas y de una libra «troy» de oro, por lo cual una libra de plumas es, sustancialmente, más masiva que una libra de oro.

En el mundo de la vida, se ha informado que un terrier Yorkshire adulto sólo tenía una masa de 3,1 hectogramos, mientras que un huevo de cisne tiene 3,5 hectogramos.

El diamante mayor jamás descubierto es el «Cullinan» (llamado así por el hombre que lo descubrió en la mina de Sudáfrica, de la que se extrajo en 1905). Su masa original, tal y como fue encontrada, era de 6,212 hectogramos, o, exactamente, dos veces la masa del citado terrier Yorkshire.

ESCALÓN 3
0,1 kilogramo (10^{-1} kg)
1 hectogramo (10^{0} hg)

Un hectogramo es igual a 3,532 onzas «avoirdupois», ó 3,215 onzas «troy». Esto significa que aquí nos encontramos cerca del nivel del cuarto de libra.

Por lo general, el consumidor norteamericano compra la mantequilla en unidades de un cuarto de libra, un prisma cuadrado de masa envuelto en papel encerado. Cuando un norteamericano adquiere una pastilla de mantequilla, compra *1,134* hectogramos.

Para quienes creen que los insectos son cosas pequeñas, será interesante (o tal vez horrendo) recordar que unos cuantos no son en modo alguno pequeños. El insecto más grande, ya mencionado, es el escarabajo Goliat, que tiene una masa de casi exactamente 1 hectogramo.

El diamante «Cullinan» fue tallado en nueve grandes piedras y un centenar de otras más pequeñas, todas sin defectos. El mayor diamante sacado de la piedra fue «La estrella de África», y es el diamante tallado y pulido más grande. Tiene una masa de 1,06 hectogramos, o, exactamente, la masa de un escarabajo Goliat.

ESCALÓN 4
0,031 6 kilogramos ($10^{-1,5}$ kg)
3,16 decagramos ($10^{0,5}$ dag)

Un decagramo es igual a 10 gramos, y en el nivel de masa del Escalón 4 hemos llegado al ámbito de las onzas. Una onza «troy» es igual a 3,11 decagramos, y una onza «avoirdupois» equivale a 2,835 decagramos.

Un huevo de gallina de tamaño medio posee una masa de unos 5,25 decagramos (aunque algunos huevos muy grandes pueden alcanzar los 7 decagramos de masa).

El primate más pequeño es el tití pigmeo, que puede pesar, de adulto, sólo 4 decagramos. Los titíes poseen cerebros que, teniendo en cuenta el tamaño de su cuerpo, son los mayores que se conocen. Un cerebro de tití es igual a un octavo de la masa de su cuerpo (mientras que un cerebro humano sólo llega a la cincuentava parte de la masa del cuerpo). Sin embargo, es tan pequeño el tamaño absoluto del cerebro del tití, que dicho animalito sigue siendo una criatura sin inteligencia, aunque, indudablemente, sea más brillante que otros animales de su tamaño.

El miembro viviente más pequeño del grupo de animales a los que por lo general denominamos carnívoros, es una especie particularmente pequeña de comadreja, cuyos ejemplares adultos no pasan de los 3,5 decagramos. Tal carnívoro, si se encontrase con un escarabajo Goliat, se hallaría al lado de un insecto que poseería triple masa que él.

ESCALÓN 5
0,01 kilogramos (10^{-2} kg)
1 decagramo (10^{0} dag)

Un decagramo equivale a 0,3527 onzas «avoirdupois», ó 0,3215 onzas «troy», por lo que, *grosso modo,* tratamos ahora con masas de un tercio de onza.

En este nivel de masa del Escalón 5 nos encontramos ya en el ámbito de los mamíferos muy pequeños. El ratón es el más pequeño de los mamíferos, por lo cual decimos que una cosa «es pequeña como un ratón». El ratón casero común, puede tener una masa de 2 decagramos. Sin embargo, la especie más pequeña de ratón es el ratón de campo del Viejo Mundo, que tiene como máximo una masa de un decagramo, aunque algunos adultos son tan pequeños que sólo llegan a medio decagramo de masa.

Entre las aves, el reyezuelo tiene una masa aproximada de un decagramo, aunque hay algunas especies con masas inferiores al medio decagramo.

ESCALÓN 6
0,003 16 kilogramos ($10^{-2,5}$ kg)
3,16 gramos ($10^{0,5}$ g)

Originariamente, el gramo fue pensado como la unidad básica de masa, pero es demasiado pequeño para resultar conveniente. Una onza «avoirdupois» tiene unos 28,35 gramos, y una onza «troy», unos 31,1 gramos.

En realidad, la onza es inconvenientemente grande para emplearla aquí como comparación. Aunque la onza sea la unidad de masa más pequeña de uso diario en Estados Unidos, está dividida en dracmas («drams»). (Hay otro dracma que se emplea como medida de volumen y que ya hemos descrito).

En la actualidad, existen dos dracmas diferentes, que se emplean como medidas de masa. La onza «avoirdupois» se divide en 16 dracmas «avoirdupois», por lo cual 1 dracma «avoirdupois» equivale a 1,77 gramos. Por otra parte, la onza «troy», se divide en 8 dracmas «troy», por lo cual 1 dracma «troy» es igual a 3,89 gramos. Así, pues, el nivel de masa del Escalón 6 se halla muy cerca de la marca del dracma «troy».

Como puede verse, el dracma «troy» es igual a casi 2,2 dracmas «avoirdupois». Por tanto, comparar los dos dracmas equivale exactamente a comparar kilogramos y libras «avoirdupois». Dado que, por lo general, en Estados Unidos, los dracmas no reciben el calificativo correspondiente, existe una gran posibilidad de confusión.

Un dracma «troy» se divide en 2,5 «pennyweights», por lo cual una onza «troy» equivale a 8 x 2,5 o 20 «pennyweights». (Esta voz significa, literalmente, «peso de penique», y se denomina de esta manera porque el chelín inglés, que originariamente era una onza «troy» de plata, está dividido en 20 peniques.) Un «penny-weight» es igual a 1,5555 gramos, y esto, presumiblemente, es lo que pesaría un penique de plata, si existiera.

Los farmacéuticos de los países de habla inglesa dividen el dracma «troy» en 3 escrúpulos («scruples»), por lo cual un escrúpulo pesa 1,3 gramos, o cinco sextos de un «pennyweight». (A propósito: ¿aún queda alguien que no comprende la superioridad del sistema métrico después de leer todo esto?)

En este nivel de masa hemos alcanzado al más pequeño de todos los organismos de sangre caliente. El mamífero más pequeño es una musaraña enana que, probablemente, nunca llegue a tener una masa de más de 2,5 gramos. El mayor de ellos tiene una masa

de menos de un dracma «troy». El más pequeño de los mismos puede, de adulto, tener una masa de no más un «pennyweight». La musaraña enana alcanza una masa de sólo una cuarta parte del ratón más pequeño.

El ave más pequeña es el colibrí abeja, que tiene, aproximadamente, la masa de una musaraña enana; alcanza, más o menos, una quinta parte de la masa del reyezuelo.

La mariposa más grande conocida es una especie de las islas Salomón, que puede tener una masa de hasta 5 gramos. El colibrí abeja o la musaraña enana tienen una masa de menos de la mitad de dicha mariposa, y tan sólo 1/50 de un escarabajo Goliat.

ESCALÓN 7
0,001 kilogramos (10^{-3} kg)
1 gramo (10^{0} g)

Los vertebrados terrestres más pequeños, diminutos lagartos y tritones, no tienen, probablemente, más de un gramo (o algo menos) de masa. El hecho de que los vertebrados de sangre fría, tales como los reptiles y anfibios, no necesiten mantener constantes elevadas temperaturas corporales, les permite ser menos masivos que los vertebrados de sangre caliente. (Cuanto menor es una forma viviente, con tanta mayor rapidez pierde el calor.)

ESCALÓN 8
0,000 316 kilogramos ($10^{-3,5}$ kg)
3,16 decigramos ($10^{0,5}$ dg)

Un decigramo es la décima parte de un gramo y, aunque sea una unidad permitida en la versión SI —al igual que el decagramo y el hectogramo—, casi nunca se usa. En general, cuando se maneja una masa igual a 0,316 gramos, no se expresa como 31,6 decigramos, sino como 316 miligramos.

Una unidad no métrica familiar para muchas personas, incluso en países en los que se emplea el sistema métrico, es el «quilate», que se emplea muy a menudo para describir la masa de los diamantes. (La voz *quilate* procede del árabe *qirat*, y éste, del griego *keration*, con el significado de peso de cuatro granos.)

Originariamente hubo muchos quilates diferentes, todos ellos muy cercanos a los 2 decigramos. En 1913, Estados Unidos adoptó un quilate que tenía, exactamente, 2 decigramos de masa (o 200 miligramos). Es el denominado «quilate métrico» y que, en la actualidad, se usa en todo el mundo. Así, la «Estrella de África», el mayor diamante tallado, tiene una masa de 530,2 quilates métricos, y el «Cullinan», del que fue tallado, tenía 3 106 quilates métricos cuando se encontró. Otras gemas preciosas, tales como los rubíes, esmeraldas y zafiros, se miden también en quilates.

También se emplea la palabra quilate para expresar la pureza del oro y de otros metales preciosos. Sin embargo, este quilate no es una unidad de masa, sino de proporción. El oro de catorce quilates es una aleación áurea que consta de 14/24 partes de oro, pero semejante aleación carece en absoluto de masa.

Como cabía esperar, los huevos de ave más pequeños son los del colibrí abeja. Tienen una masa de sólo 5 decigramos (2,5 quilates, si queremos compararlos con los diamantes).

ESCALÓN 9
0,000 1 kilogramos (10^{-4} kg)
1 decigramo (10^{0} dg)

Un decigramo equivale a medio quilate.

La unidad más pequeña de masa, en el uso común norteamericano, es el grano («grain»), nombre que deriva del hecho de que, originariamente, significaba la masa de un típico grano de trigo.

El grano se usó al principio como una unidad del sistema «troy». Veinte granos forman un escrúpulo, y 24 granos, un «pennyweight». Dado que hacen falta 3 escrúpulos para formar un dracma «troy» y 2,5 «pennyweights» para un dracma «troy», de una forma u otra, 60 granos constituyen un dracma «troy». Puesto que 8 dracmas son una onza «troy» y 12 onzas «troy» constituyen una libra «troy», 480 granos equivalen a una onza «troy», y 5 760 a una libra «troy».

En realidad hacen falta exactamente 7 000 granos para constituir una libra «avoirdupois». Esto significa que 437,5 granos forman una onza «avoirdupois», y sólo un poco más de 27 1/3, un dracma «avoirdupois».

En lo que se refiere al sistema métrico, cada grano equivale a 0,648 decigramos.

ESCALÓN 10
0,000 031 6 kilogramos ($10^{-4,5}$ kg)
3,16 centigramos ($10^{0,5}$ cg)

Un centigramo es la décima parte de un decigramo, o una centésima de gramo, y una vez más, aunque esté permitido en la versión SI del sistema métrico, constituye una unidad que se emplea raramente.

El agua que rezuma de una pequeña abertura forma gotas, cada una de las cuales tendrá una masa de 6 centigramos. Un grano, como ya he señalado en la sección anterior, equivale a 0,648 decigramos y, por tanto, a 6,48 centigramos. De esto se sigue que una gota de agua tiene una masa inferior a un gramo y, en consecuencia, 16 gotas de agua pesarán aproximadamente un gramo.

ESCALÓN 11
0,000 01 kilogramos (10^{-5} kg)
1 centigramo (10^{0} cg)

Un quilate métrico está dividido en veinte puntos («points»). Dado que un quilate es igual a 2 decigramos, los cuales, a su vez, equivalen a 20 centigramos, el punto vale 1 centigramo (ó 0,01 gramos).

Así, en 1969, Richard Burton compró un diamante de 69,42 quilates para Elizabeth Taylor. Por tanto, su masa era de 69,42 x 20, ó 1 388,4 puntos. Dado que Burton pagó 1 200 000 dólares por la piedra, este precio equivalió a 864,30 dólares por punto.

Hay polillas que depositan huevos de unos 1,7 centigramos de masa, los más masivos huevos de insecto conocidos. (Si tales huevos fuesen diamantes, y su valor estuviese en la misma proporción que el diamante de Burton, valdrían casi 5 100 dólares cada uno.)

ESCALÓN 12
0,000 003 16 kilogramos ($10^{-5,5}$ kg)
3,16 miligramos ($10^{0,5}$ mg)

El miligramo es la décima parte de un centigramo, una centésima de decigramo y —lo que es más importante— una milésima de gramo. Cuando bajamos del kilogramo al gramo en el sistema métrico recurrimos de nuevo al miligramo en vez de al gramo. Así, se habla de 350 miligramos o de 35 miligramos, en vez de 3,5 decigramos o 3,5 centigramos, respectivamente.

De la misma forma, en la conversión usual de cifras, un quilate es igual a 200 miligramos (mejor que 2 decigramos), y un punto es igual a 10 miligramos (en vez de 1 centigramo). Un grano, pues, equivaldrá a 64,8 miligramos.

En el nivel de masa del Escalón 12 nos estamos aproximando ya a los vertebrados más pequeños. El pez de agua dulce más pequeño es un diminuto gobio de las islas Filipinas, cuyos especímenes adultos tienen masas de sólo 4 miligramos.

ESCALÓN 13
0,000 001 kilogramos (10^{-6} kg)
1 miligramo (10^{0} mg)

Un pez marino, también gobio, que se encuentra frente a las costas de la islas Marshall, es el menos masivo de los vertebrados (aunque algo mayor que los gobios de agua dulce de las Filipinas). Tales gobios marinos poseen una masa muy pequeña (2 miligramos).

ESCALÓN 14
0,000 000 316 kilogramos ($10^{-6,5}$ kg)
316 microgramos ($10^{2,5}$ µg)

Una vez hemos descendido más allá del miligramo, nos encontramos con nuevos prefijos sólo cada tres órdenes de magnitud. Más allá del miligramo está el microgramo, que equivale a una milésima de miligramo y, por tanto, a una millonésima de gramo.

Tomemos una gota de agua que rezuma y cae de una pequeña abertura y que se divide en 200 gotitas iguales. Cada una de las gotitas tendría una masa de unos 316 microgramos. De esta forma, el valor de la masa de 316 microgramos del diamante de Richard Burton, con un valor proporcionado al total, sería de 27,30 dólares.

ESCALÓN 15
0,000 000 1 kilogramos (10^{-7} kg)
100 microgramos (10^{2} µg)

La araña más pequeña, una especie que vive en Australia, tiene una masa de unos 100 microgramos. Las gotitas de agua que llenan el aire durante una ligera llovizna tendrán una masa de no más de 100 microgramos cada una.

ESCALÓN 16
0,000 000 031 6 kilogramos ($10^{-7,5}$ kg)
31,6 microgramos ($10^{1,5}$ µg)

El gusano segmentado más pequeño (del grupo al que pertenece la lombriz común de tierra) tiene menos de un milímetro de longitud, y su masa se halla dentro del ámbito de masa del Escalón 16.

ESCALÓN 17
0,000 000 01 kilogramos (10^{-8} kg)
10 microgramos (10^{1} µg)

Los crustáceos más pequeños (del grupo al que pertenecen los cangrejos y las langostas) son unas diminutas pulgas de agua que tienen unas masas de tal vez 8 microgramos.

ESCALÓN 18
0,000 000 003 16 kilogramos ($10^{-8.5}$ kg)
3,16 microgramos ($10^{0,5}$ µg)

Los insectos más pequeños son unas diminutas avispas parásitas con una abertura alar de no más de un milímetro, cuyas masas pueden no rebasar los 5 microgramos. Sin embargo, hasta unos organismos así son multicelulares y están compuestos por cierto número de células (aunque en un número muy pequeño en comparación con los organismos más grandes).

De todos modos, hay organismos unicelulares (los compuestos por una sola célula) que se aproximan a la masa de dichos organismos multicelulares tan diminutos. El paramecio y la amiba, muy bien conocidos por los jovencitos en sus primeras aventuras en la escuela con el microscopio, poseen masas de tal vez 4 microgramos.

ESCALÓN 19
0,000 000 001 kilogramos (10^{-9} kg)
1 microgramo (10^{0} µg)

Los organismos multicelulares más pequeños son los rotíferos, constituidos por un fijado (y pequeño) número de células. El más pequeño puede tener una masa de no más de 1 microgramo, y a partir de ahora no podremos tratar con nada más masivo que las células individuales.

El óvulo humano, o célula ovular, por ejemplo, tendría una masa de 1,5 microgramos aproximadamente. Esto es muy pequeño en comparación con los huevos de ave —que nos son mucho más familiares—, pero en el caso del óvulo humano no se necesita ningún suplemento alimenticio excepto para el breve intervalo antes de que el huevo se implante en la pared del útero y empiece a ser nutrido por el torrente sanguíneo de la madre a través de la placenta. Otros óvulos de mamíferos son igualmente pequeños.

Sin embargo, hasta esa pequeña cantidad de alimento es suficiente para hacer del óvulo la mayor célula del cuerpo humano, de uno u otro sexo. (Como es natural, el óvulo se encuentra sólo en las hembras.)

ESCALÓN 20
0,000 000 000 316 kilogramos ($10^{-9,5}$ kg)
316 nanogramos ($10^{2,5}$ ng)

Un nanogramo es una milésima de microgramo y, por tanto, una milmillonésima de gramo.

Los óvulos de mamífero no son los más pequeños que existen. Los insectos más pequeños no son mucho más grandes que una célula ovular de mamífero, por lo cual, como es obvio, sus huevos son considerablemente más pequeños. Los insectos más diminutos depositan huevos de unos 200 nanogramos de masa, o una séptima parte de la masa de un óvulo humano, pero debe recordarse que hasta ese diminuto huevo ha de contener todo el alimento que necesitará el insecto en desarrollo, hasta que sea lo suficientemente grande como para encontrar alimento por sí mismo. Digamos, de pasada, que el huevo es sólo un veinticincoavo de la masa del insecto que lo pone.

ESCALÓN 21
0,000 000 000 1 kilogramos (10^{-10} kg)
100 nanogramos (10^{2} ng)

Nos encontramos aquí en el ámbito del polvo más fino. La más típica partícula de polvo volcánico puede tener una masa de 100 nanogramos.

Este polvo es más pequeño que cualesquiera huevos de animal, pero las plantas lo producen aún más pequeño. Algunas orquídeas dan semillas con una masa individual de 80 nanogramos.

ESCALÓN 22
0,000 000 000 031 6 kilogramos ($10^{-10,5}$ kg)
31,6 nanogramos ($10^{1,5}$ ng)

En este nivel de masa, dejamos definitivamente atrás los huevos y semillas y nos aproximamos al reino de las células ordinarias que constituyen los tejidos de los animales multicelulares.

ESCALÓN 23
0,000 000 000 01 kilogramos (10^{-11} kg)
10 nanogramos (10^{1} ng)

Las células más grandes de los tejidos humanos tienen unas masas de unos 15 nanogramos, aproximadamente 1/100 de la masa del óvulo humano. Las células humanas de tamaño medio, como las atareadas células de esa fábrica de productos químicos que es el hígado, tienen unas masas de la mitad de este tamaño, es decir, unos 8 nanogramos.

ESCALÓN 24
0,000 000 000 003 16 kilogramos ($10^{-11,5}$ kg)
3,16 nanogramos ($10^{0,5}$ ng)

Nos hallamos ahora en el ámbito de las células de los tejidos por debajo del tamaño medio.

ESCALÓN 25
0,000 000 000 001 kilogramos (10^{-12} kg)
1 nanogramo (10^{0} ng)

Las materias insolubles pueden permanecer indefinidamente en suspensión acuosa si están divididas en partículas muy pequeñas. En tal caso, basta para mantener en suspensión las partículas la presencia de pequeñas cargas eléctricas de igual signo en cada partícula (dado que, de esta forma, las partículas se repelen entre sí), junto con el ajetreo de las móviles moléculas de agua. Esto constituye una «suspensión coloidal», llamada así a causa de que las colas ordinarias son un ejemplo de tales suspensiones, y la palabra griega para pegamento es, precisamente, «kolla». Así, constituirán una suspensión permanente unas partículas de polvo de oro muy finamente divididas, con diámetros de medio micrómetro aproximadamente. Las masas de las partículas individuales tienen 1 nanogramo en números redondos.

ESCALÓN 26
0,000 000 000 000 316 kilogramos ($10^{-12,5}$ kg)
316 picogramos ($10^{2,5}$ pg)

Aquí nos abrimos camino a través de las más pequeñas células de los tejidos corrientes de los organismos multicelulares. Sin embargo, aún quedan regiones de la vida en niveles ulteriores.

ESCALÓN 27
0,000 000 000 000 1 kilogramos (10^{-13} kg)
100 picogramos (10^{2} pg)

Unas «células» familiares que no son en realidad células de los tejidos ordinarias, las tenemos en los glóbulos rojos de la sangre, que recogen el oxígeno en las membranas pulmonares y lo transportan hasta las células de los tejidos. No son auténticas células, puesto que carecen de núcleo, requisito esencial para la división y reproducción celular. Los glóbulos rojos se originan mediante la división de células auténticas, pero en tal proceso pierden sus núcleos y se convierten en meros mecanismos de transporte, que se desgastan y se desintegran con relativa rapidez, sin dejar descendientes. Son remplazados por corpúsculos enteramente nuevos, producidos por las células nucleadas, cuya función consiste en mantener su producción.

Así, pues, no es sorprendente que los glóbulos rojos de la sangre sean más pequeños que las verdaderas células. Tienen unos 90 picogramos, o sea, que su masa es 1/80 menor que la de las células hepáticas y, asimismo, 1/60 menor que la de las células corporales más grandes.

ESCALÓN 28
0,000 000 000 000 031 6 kilogramos ($10^{-13,5}$ kg)
31,6 picogramos ($10^{1,5}$ pg)

En el nivel de masa del Escalón 28 podemos hablar ya abiertamente de las «organelas» internas de los tejidos celulares, las estructuras más pequeñas que forman las células. De entre éstas, los cloroplastos de las células vegetales son tan grandes como las organelas. No sólo contienen clorofila —esencial para la serie de reacciones químicas que permiten aprovechar la luz solar para formar compuestos complejos a partir de otros más simples—, sino también toda la maquinaria química y estructural requerida para dichas reacciones. Los cloroplastos de las hojas de las espinacas tienen una masa de unos 60 picogramos, dos tercios de la masa de los glóbulos rojos sanguíneos.

Todas las células de los tejidos vegetales y animales, así como la mayor parte de los organismos unicelulares, tienen núcleos que contienen la maquinaria reproductora de la célula. Por lo general, poseen la mitad de la masa de los cloroplastos.

Esto nos lleva a una célula muy especializada, el espermatozoide, o célula espermática, que es, en el macho, lo análogo a la célula ovular en la hembra. Dado que la célula ovular posee un núcleo que contiene la mitad del material nuclear de la célula ordinaria del tejido de la hembra (lo podríamos denominar «seminúcleo»), rodeado por un comparativamente vasto suplemento alimenticio, la célula espermática contiene sólo un seminúcleo, unido a una fustigante cola. No posee suministro alimenticio, puesto que todo cuanto necesita es nadar hasta la célula del óvulo y entrar en ella (en competición con millones de otros más, que intentan el mismo objetivo, y de los cuales, sólo *uno* puede tener éxito). Luego añade su seminúcleo al seminúcleo de la célula del óvulo, produciendo un núcleo entero y compartiendo la explotación del suministro alimenticio.

La célula del esperma humano tiene una masa de unos 17 picogramos, menos de 1/6 parte de los glóbulos rojos sanguíneos y 1/80 000 parte del tamaño de la célula del óvulo humano.

ESCALÓN 29
0,000 000 000 000 01 kilogramos (10^{-14} kg)
10 picogramos (10^{1} pg)

Existen algunos objetos asociados con los organismos multicelulares, a los que aún no nos hemos referido. La corriente sanguínea humana (y la de otros vertebrados) contiene ciertas estructuras llamadas «plaquetas». No son células, sino simplemente pequeñas estructuras con sustancias que permiten la coagulación de la sangre. Cualquier daño causado pone en marcha a las plaquetas y lleva a la formación de un coagulador de la sangre. Las plaquetas individuales tienen una masa de unos 10 picogramos, 3/5 partes de la célula espermática y 1/9 parte del glóbulo rojo sanguíneo.

Así como los protozoos mayores son más masivos que los más grandes células de los tejidos, los protozoos más pequeños son menos masivos que las más pequeñas células de los tejidos de los organismos multicelulares. El protozoo más pequeño puede tener una masa no mayor de 7 picogramos.

Esto es, aproximadamente, una millonésima parte de la masa del protozoo mayor y una milésima parte de la masa de una célula de los tejidos media.

No obstante, por debajo del ámbito de las células de protozoos existe un grupo de organismos aún más pequeños llamados «bacterias». No son ni plantas ni células animales, sino algo más primitivo, y carecen de núcleo. A diferencia de los glóbulos rojos de la sangre, esto no significa que las bacterias no se reproduzcan. Lo realizan con gran facilidad, pero el ADN que hace posible esto no está organizado dentro de un núcleo bien definido, sino distribuido a través de la célula.

Tales células enucleadas («procariotas») son más primitivas que las nucleadas («eucariotas»), y la célula sólo funciona, aparentemente, en tales condiciones nucleares ineficientes, si es muy pequeña. (Hay también células procariotas con clorofila, denominadas «algas cianofíceas».) Incluso las mayores células procariotas tienen una masa no superior a 7 picogramos, o sea, menos de una milésima parte de la masa de una típica célula eucariota.

ESCALÓN 30
0,000 000 000 000 003 16 kilogramos ($10^{-14,5}$ kg)
3,16 picogramos ($10^{0,5}$ pg)

De igual manera que las semillas de las plantas pueden ser más pequeñas que cualquier óvulo animal, las análogas células espermáticas de las plantas (granos de polen) pueden ser más pequeñas que cualquier célula espermática animal. Algunas hierbas producen granos de polen que no tienen más de 5 picogramos de masa, menos de una tercera parte de la masa de una célula espermática.

ESCALÓN 31
0,000 000 000 000 001 kilogramos (10^{-15} kg)
1 picogramo (10^{0} pg)

Ahora nos encontramos ya en pleno ámbito del tamaño bacteriano. El intestino grueso humano está cargado de pequeñas bacterias que ayudan a la descomposición de la comida, producen algunas vitaminas que absorbemos y, en general, viven con nosotros en paz y no nos causan el menor daño. Se trata de las células *E. coli,* y es posible que la célula *E. coli* individual no tenga más de 2 picogramos de masa.

En las células eucariotas existen numerosos pequeños «mitocondrios» que contienen el aparato para descomponer moléculas, de forma que liberan, atrapan y hacen un uso constructivo de parte de la energía química contenida en esas moléculas, empleando el oxígeno para dichos propósitos. Los mitocondrios de las células hepáticas humanas poseen una masa de unos 1,5 picogramos, o sea, más o menos, 1/40 parte de la masa de un cloroplasto típico (lo cual muestra, en cierta forma, que es más difícil construir moléculas complejas que descomponerlas).

ESCALÓN 32
0,000 000 000 000 000 316 kilogramos ($10^{-15,5}$ kg)
316 femtogramos ($10^{2,5}$ fg)

Un femtogramo es una milésima de picogramo y una billonésima de gramo. En el nivel de masa del Escalón 32, nos encontramos en el ámbito de las bacterias más pequeñas.

ESCALÓN 33
0,000 000 000 000 000 1 kilogramos (10^{-16} kg)
100 femtogramos (10^{2} fg)

En el nivel del Escalón 33 hemos llegado al estadio en que resulta difícil introducir en las células toda la maquinaria necesaria para la vida. En efecto, una célula bacteriana con una masa de 100 femtogramos puede contener las diversas sustancias necesarias para la vida, pero sólo en cantidades mínimas, y dejar un espacio muy pequeño como reserva.

Sin embargo, esto no significa que estemos alcanzando el límite inferior de la vida. Es posible para lo viviente carecer de algunas de las cosas esenciales, ser incapaces por tanto de vivir por sí mismas, y, sin embargo, penetrar en otras células más completas y multiplicarse con ellas, empleando la maquinaria química de las células del huésped para sus propios fines.

Las mayores de tales «subcélulas» parásitas son las rickettsias, algunas de las cuales son responsables de unas muy bien conocidas enfermedades humanas. El organismo rickéttsico que causa la fiebre tifoidea, por ejemplo, tiene una masa de unos 54 femtogramos.

ESCALÓN 34
0,000 000 000 000 000 031 6 kilogramos ($10^{-16,5}$ kg)
31,6 femtogramos ($10^{1,5}$ fg)

La bacteria más pequeña conocida es la de los «organismos parecidos a la pleuroneumonía» (PPLO), que fueron vistos por primera vez en las aguas residuales. Son las células más pequeñas que contienen cuantos sistemas químicos son necesarios para una vida independiente y no parasitaria. Pueden tener una masa tan pequeña como de 20 femtogramos, por lo que las más pequeñas células de vida libre tienen menos de la mitad de la masa de las rickettsias.

ESCALÓN 35
0,000 000 000 000 000 01 kilogramos (10^{-17} kg)
10 femtogramos (10^{1} fg)

Existen unos organismos menos masivos que las rickettsias, llamados «virus», todos los cuales parasitan células; unos cuantos de ellos son responsables de las enfermedades humanas más corrientes.

Uno de los mayores virus es el que causa la vacuna, y que se emplea para la inmunización contra la viruela (un proceso llamado «vacunación», de la voz latina para designar a la «vaca»). El virus de la vacuna puede tener una masa de sólo 5,6 femtogramos.

ESCALÓN 36
0,000 000 000 000 000 003 16 kilogramos ($10^{-17,5}$ kg)
3,16 femtogramos ($10^{0,5}$ fg)

Ahora nos estamos adentrando en el ámbito de los virus de tamaño medio.

ESCALÓN 37

0,000 000 000 000 000 000 1 kilogramos (10^{-18} kg)
1 femtogramo (10^{0} fg)

El virus causante de la gripe no está muy por debajo de 1 femtogramo. Su masa puede ser de 0,8 femtogramos.

ESCALÓN 38

0,000 000 000 000 000 000 316 kilogramos ($10^{-18,5}$ kg)
316 attogramos ($10^{2,5}$ ag)

El prefijo «atto-», simbolizado por «a», representa una trillonésima parte de la medida básica. Un attogramo es una trillonésima de gramo y se simboliza por «ag». El prefijo deriva de la voz danesa *attem*, que significa «dieciocho», ya que un attogramo equivale a 10^{-18} gramos.

Un grupo particular de virus que infecta a células bacterianas son denominados «bacteriófagos». Los grandes miembros de este grupo tienen masas hasta de 500 attogramos.

ESCALÓN 39

0,000 000 000 000 000 000 1 kilogramos (10^{-19} kg)
100 attogramos (10^{2} ag)

El primer virus descubierto fue uno que causa la «enfermedad del mosaico del tabaco» y, naturalmente, se le llama «virus del mosaico del tabaco». Tiene una masa de unos 70 attogramos.

ESCALÓN 40

0,000 000 000 000 000 000 031 6 kilogramos ($10^{-19,5}$ kg)
31,6 attogramos ($10^{1,5}$ ag)

Los cromosomas encontrados en los núcleos de las células se dividen en «genes», cada uno de los cuales se cree que gobierna la formación de una enzima particular, que controla una particular reacción química. Los genes son similares a los virus, en naturaleza química y en tamaño. En realidad, los virus controlan probablemente las células a las que infestan, suplantando las funciones de los propios genes de la célula. Un gen puede tener una masa de 40 attogramos.

ESCALÓN 41

0,000 000 000 000 000 000 01 kilogramos (10^{-20} kg)
10 attogramos (10^{1} ag)

Nos hemos de referir ahora a virus que se hallan muy por debajo del tamaño promedio. Un bacteriófago que infesta *E. coli* tiene una masa de unos 10 attogramos, mientras que el virus que causa la fiebre amarilla posee una masa de unos 5,6 attogramos.

ESCALÓN 42
0,000 000 000 000 000 000 003 16 kilogramos ($10^{-20,5}$ kg)
3,16 attogramos ($10^{0,5}$ ag)

En las células existen unas organelas particularmente pequeñas, llamadas «ribosomas»; en ellas se sintetizan las moléculas de proteína. Un ribosoma de *E. coli* tiene una masa de unos 4,7 attogramos.

ESCALÓN 43
0,000 000 000 000 000 000 001 kilogramos (10^{-21} kg)
1 attogramo (10^{0} ag)

Al fin, nos estamos aproximando a los límites de la vida. Entre los virus muy pequeños se encuentran los que causan la enfermedad de la fiebre aftosa en el ganado. Este virus posee una masa de aproximadamente 0,7 attogramos.

Entre los virus de la fiebre aftosa y el gigantesco árbol secoya hay una extensión de 27 órdenes de magnitud. Es como comparar la masa de un ser humano con la de una pequeña estrella, y esto constituye una impresionante indicación del ámbito de masa en el que puede existir vida.

En el reino de la no vida, las pequeñas partículas de las suspensiones coloidales muestran cierto número de sus propiedades características a través del hecho de que esas diminutas partículas tienden a dispersar las ondas luminosas. Sin embargo, a medida que se hacen más pequeñas las partículas, se alcanza un punto en el que las ondas luminosas, por pequeñas que sean, pueden pasar por encima de esas partículas, por así decirlo, y entonces ya no son dispersadas. Por tanto, las partículas con una masa de 1 attogramo o menos, son también demasiado pequeñas para formar suspensiones coloidales. En este punto comenzamos a encontrar verdaderas soluciones.

Aunque nos hundamos por debajo del nivel de vida y de los coloides, sigue habiendo objetos que considerar. Las formas más simples de vida son poco más que un puñado de moléculas gigantes (conjuntos de átomos, unidos entre sí con gran firmeza) de dos tipos principales: ácidos nucleicos y proteínas. Donde no se requieren las propiedades que asociamos con la vida, tales moléculas pueden ser menos masivas que la menos masiva forma de vida.

Naturalmente, existe una superposición, como en casi todas las divisiones, por lo cual existen proteínas no vivientes que son más grandes que los más pequeños virus. Por ejemplo, la proteína característica del músculo es la «miosina», y algunas moléculas de miosina poseen masas de 1,03 attogramos, casi la mitad de la masa de los virus de la enfermedad aftosa.

ESCALÓN 44
0,000 000 000 000 000 000 000 316 kilogramos ($10^{-21,5}$ kg)
0,316 attogramos ($10^{-0,5}$ ag)
190 000 daltones ($10^{5,28}$ D)

En la versión SI del sistema métrico no existe prefijo para representar una división más pequeña que «atto-». Por tanto, seguiremos con ese prefijo hasta el final.

De todos modos, para mayor conveniencia, introduciremos una unidad que no es del SI. Los químicos dan las masas de las moléculas en términos de algo llamado

tradicionalmente «peso molecular». La unidad de «peso molecular» es la «unidad atómica de masa» o sea, exactamente, la masa del átomo menos masivo. La unidad de masa atómica se llama también «dalton», del nombre del químico inglés que desarrolló por primera vez la moderna teoría atómica. Emplearemos el «dalton» como unidad, y lo simbolizaremos por «D». Existen unos 600 000 daltones en un attogramo, por lo que los 0,316 attogramos del nivel de masa del Escalón 44 equivaldrán a 190 000 daltones.

Algunas de las proteínas más importantes son las «enzimas», que regulan la velocidad de las reacciones químicas, y de esa manera, por su presencia en unas proporciones particulares, dominan la maquinaria química del cuerpo hasta en los menores detalles. Una de las mayores moléculas enzimáticas es el «ácido glutámico dehidrogenasa», una enzima que regula la proporción a la que una molécula conocida como ácido glutámico (mucho más pequeña que la enzima) pierde dos átomos de hidrógeno. Posee una masa de 0,416 attogramos (250 000 daltones).

Tenemos otro ejemplo en las gammaglobulinas, miembros de una clase de proteínas de la corriente sanguínea y que son en extremo importantes para mantener la inmunidad corporal a la enfermedad. Se presentan en un amplio ámbito de tamaño, pero una gammaglobulina típica tendría un peso molecular de 0,266 attogramos (160 000 daltones).

ESCALÓN 45

0,000 000 000 000 000 000 000 1 kilogramos (10^{-22} kg)
0,1 attogramos (10^{-1} ag)
60 000 daltones ($10^{4,78}$ D)

La hemoglobina es una de las proteínas mejor conocidas. Es la que da a la sangre su color rojo y la que toma el oxígeno de los pulmones. (En realidad, la hemoglobina es roja sólo después de tomar el oxígeno y convertirse en «oxihemoglobina», pero cuando sangramos, la sangre que sale de la herida, si no está oxigenada al brotar, capta al instante el oxígeno, por lo que siempre la vemos de color rojo.)

Una molécula de hemoglobina tiene una masa de unos 0,11 attogramos, ó 68 000 daltones.

ESCALÓN 46

0,000 000 000 000 000 000 000 031 6 kilogramos ($10^{-22,5}$ kg)
0,031 6 attogramos ($10^{-1,5}$ ag)
19 000 daltones ($10^{4,28}$ D)

La hemoglobina consta de cuatro porciones, sumamente cohesionadas. En el músculo existe una proteína recolectora de oxígeno que se parece más bien a una molécula de hemoglobina, compuesta por sólo una de esas porciones. Es, al parecer, una molécula de «un cuarto de hemoglobina», y se denomina «mioglobina». Una molécula de mioglobina tiene una masa de unos 0,028 attogramos (17 000 daltones).

El páncreas segrega en el intestino delgado un fluido con una variedad de enzimas digestivas, que ayudan a descomponer las moléculas complejas de alimento en fragmentos más pequeños, susceptibles de ser absorbidos. Una de estas enzimas, que ayuda a separar las moléculas de proteína, se llama «tripsina». Una molécula de tripsina tiene una masa de unos 0,04 attogramos (23 800 daltones).

ESCALÓN 47
0,000 000 000 000 000 000 000 01 kilogramos (10^{-23} kg)
0,01 attogramos (10^{-2} ag)
6 000 daltones ($10^{3,78}$ D)

Nos encontramos ahora en el ámbito de las moléculas de proteína más pequeñas. La hormona insulina es una proteína esencial para el funcionamiento adecuado de las reacciones corporales que descomponen la glucosa (la forma de azúcar que actúa como combustible inmediato del cuerpo) y extrae energía de la misma. La insulina se forma en el páncreas, y cuando el páncreas fracasa en su tarea, el resultado es la «diabetes». La masa de una molécula de insulina es de casi 0,01 attogramos (5 800 daltones).

ESCALÓN 48
0,000 000 000 000 000 000 000 003 16 kilogramos ($10^{-23,5}$ kg)
0,003 16 attogramos ($10^{-2,5}$ ag)
1 900 daltones ($10^{3,28}$ D)

Las proteínas y los ácidos nucleicos se llaman «moléculas orgánicas» porque son característicos de organismos vivientes (o los que vivieron en un tiempo). La definición se ha generalizado tanto que se consideran moléculas orgánicas aquellas que, al igual que los organismos, constan de cadenas o anillos de átomos de carbono a los que están adheridos otros tipos de átomos, aunque la molécula en particular nunca aparezca en los organismos vivos.

Dado que los átomos de carbono poseen la habilidad de unirse unos a otros en largas cadenas, ramificadas o sin ramificar, y en complicados sistemas de anillos, las moléculas orgánicas pueden ser mucho más grandes y masivas que las demás moléculas (inorgánicas).

Sin embargo, hay moléculas inorgánicas de un tamaño respetable. El fosfotungstato de amonio, por ejemplo, posee una molécula que contiene 77 átomos, ninguno de los cuales es de carbono. La masa de una molécula de fosfotungstato de amonio es de unos 0,005 attogramos (2 986 daltones), ligeramente por encima del nivel de masa del Escalón 48. Una molécula afín, el fosfomolibdato de amonio, posee una masa de 0,003 2 attogramos (1 931 daltones).

Podemos comparar todo esto con la «oxitocina», una pequeña molécula hormonal producida por la glándula pituitaria. Una molécula de oxitocina tiene una masa de sólo 0,001 7 attogramos (1 007 daltones).

ESCALÓN 49
0,000 000 000 000 000 000 000 001 kilogramos (10^{-24} kg)
0,001 attogramos (10^{-3} ag)
600 daltones ($10^{2,78}$ D)

Ahora llegamos a las moléculas de tamaño moderado, con numerosos representantes tanto orgánicos como inorgánicos.

Tenemos como ejemplo las moléculas orgánicas más pequeñas que las enzimas, sin las cuales éstas no podrían llevar a cabo sus funciones. Se trata de las «coenzimas», que son, por así decirlo, el borde cortante de la enzima. Un ejemplo es el «nucleótido

difosfopiridina», cuyas moléculas contienen 71 átomos, de los cuales, 21 son de carbono. La masa de una de sus moléculas es de 0,001 1 attogramos (663,4 daltones).

Entre las moléculas inorgánicas, y por tomar una casi al azar, el bromuro de samario hidratado está compuesto por moléculas que contienen 40 átomos. Cada una de esas moléculas tiene una masa de 0,001 16 attogramos (696,2 daltones).

Se preguntarán por qué una molécula de 71 átomos puede tener una masa menor que otra con 40 átomos, pero, como pronto veremos, los átomos de diferentes clases cuentan con diferentes masas.

ESCALÓN 50

0,000 000 000 000 000 000 000 000 316 kilogramos ($10^{-24,5}$ kg)
0,000 316 attogramos ($10^{-3,5}$ ag)
190 daltones ($10^{2,28}$ D)

Las moléculas de proteína están compuestas por cadenas de pequeñas moléculas, llamadas «aminoácidos». Una típica molécula de proteína contendría centenares, e incluso millares, de las mismas en la cadena. De forma similar, los ácidos nucleicos están compuestos por cadenas de moléculas más pequeñas, llamadas «nucleótidos». Las grandes moléculas de almidón o celulosa están formadas por cadenas de moléculas más pequeñas, llamadas «glucosa».

De esas moléculas pequeñas, los nucleótidos son los más complejos. Uno típico es el ácido adenílico, que, con sus 37 átomos, posee una masa molecular de 0,000 577 attogramos (347,2 daltones). De entre los aminoácidos, el más complejo es el triptófano, que tiene una molécula de 27 átomos y una masa molecular de 0,000 340 attogramos (204,2 daltones). En cuanto a la glucosa, con su molécula de 24 átomos, posee una masa molecular de 0,000 300 (180,2 daltones).

Entre las moléculas inorgánicas, el carbonato básico de cobre constituye una mena común de cobre que, como mineral, se llama «malaquita». Tiene una molécula de diez átomos y una masa molecular de 0,000 368 (221,2 daltones).

Ya he mencionado el hecho de que los distintos átomos tienen diferentes masas y, como cabía esperar, los átomos más masivos tienen más masa que las moléculas menos masivas.

Así, los átomos más masivos conocidos tienen masas superiores a 0,000 415 attogramos (250 daltones). Sin embargo, esos átomos han sido observados sólo en el laboratorio, donde se han manufacturado en cantidades de indicios de átomos muy pequeños. Y, lo que es más, esos átomos masivos son muy inestables y se descomponen con relativa rapidez, hacia átomos más pequeños.

Los átomos más masivos que se presentan en la Tierra, en cantidades significativas, son los de uranio, radiactivos, pero que se descomponen sólo después de un largo período de tiempo; tan largo que aún sobreviven considerables cantidades de uranio que existían ya en la época de la formación de la Tierra. El más común de los dos isótopos de uranio tiene una masa atómica de 0,000 396 attogramos (238 daltones).

El átomo de mayor masa, completamente estable, es el del bismuto, del cual sólo un isótopo se presenta en cantidades sustanciales en la Tierra. Su masa atómica es de 0,000 348 attogramos (209 daltones).

La masa atómica del oro es de 0,000 328 attogramos (197 daltones), y la de un átomo de un isótopo particular de iridio, de 0,000 316 attogramos (191 daltones).

ESCALÓN 51

0,000 000 000 000 000 000 000 000 1 kilogramos (10^{-25} kg)
0,000 1 attogramos (10^{-4} ag)
60 daltones ($10^{1,78}$ D)

Aquí nos encontramos con el más pequeño de los aminoácidos: la glicina. Posee una molécula de diez átomos con una masa de 0,000 125 attogramos (75 daltones).

La urea, producto de descomposición de las proteínas, es excretada en la orina (de la que deriva su nombre). Su molécula está compuesta por ocho átomos (cuatro de hidrógeno, dos de nitrógeno, uno de carbono y uno de oxígeno), y cada una de esas moléculas tiene una masa de 0,000 1 attogramos (60 daltones).

El ácido acético, que confiere al vinagre su sabor agrio, posee moléculas compuestas de ocho átomos (cuatro de hidrógeno, dos de carbono y dos de oxígeno), y esos átomos tienen, exactamente, la masa de los de urea.

Se trata de unas moléculas orgánicas sumamente simples, y a este nivel de masa, las moléculas inorgánicas (formadas a menudo por átomos más masivos que las moléculas orgánicas) son más simples aún. Así, la molécula del cloruro de sodio (la sal común de mesa) se halla formada por dos átomos, uno de cloro y otro de sodio, y su masa es de 0,000 097 attogramos (58,4 daltones).

En lo que se refiere a los átomos individuales, nos encontramos en un ámbito mediano más bajo. Los átomos de los tres metales similares —hierro, cobalto y níquel— tienen masas que van desde los 0,000 09 attogramos (54 daltones) a los 0,000 106 attogramos (64 daltones).

ESCALÓN 52

0,000 000 000 000 000 000 000 000 031 6 kilogramos ($10^{-25,5}$ kg)
0,000 031 6 attogramos ($10^{-4,5}$ ag)
19 daltones ($10^{1,28}$ D)

En el nivel de masa del Escalón 52, las moléculas son, de hecho, muy simples. Las más simples de todas las moléculas orgánicas son las del metano, formadas por un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno. Cada una de esas moléculas tiene una masa de 0,000 026 6 attogramos (16 daltones).

Digamos de pasada, en este estadio, que la masa de una molécula varía, significativamente, con la naturaleza del isótopo que se encuentra en la molécula. Tanto el carbono como el hidrógeno están formados por dos variedades, la más masiva de las cuales es la menos común. En el caso del hidrógeno, la mayor tiene una masa de 2 daltones, en vez de sólo 1, y, en el caso del carbono, 13 daltones en vez de 12. Si el isótopo más masivo se halla incluido en los cinco átomos de metano, la masa total de la molécula es de 0,000 034 9 attogramos (21 daltones), lo cual supone casi un tercio más de masa que la molécula ordinaria. Sin embargo, y dado que sólo uno de cada 6 700 átomos de hidrógeno es el isótopo más masivo, y sólo lo es uno de cada 90 átomos de carbono, sólo uno de cada 44 000 000 000 de moléculas de metano tendría las variedades más masivas y alcanzaría el máximo de masa estable. (Hay isótopos más masivos aún tanto en el caso del hidrógeno como del carbono, pero éstos son radiactivos y no estables.)

De entre las moléculas inorgánicas, las de agua consisten en un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, y cada una de esas moléculas tiene una masa de 0,000 035 5 attogramos (18 daltones).

En cuanto a los átomos en sí, estamos tratando ahora con los más sencillos. Cada átomo del gas flúor, el noveno átomo más simple, tiene una masa de 0,000 037 5 attogramos (19 daltones).

Cada átomo de carbono, el sexto átomo más simple, posee una masa de 0,000 02 attogramos (12,01 daltones), pero éste es un valor medio. Como he dicho anteriormente, los átomos de carbono se presentan en dos isótopos estables. El menos masivo tiene una masa de 0,000 019 95 attogramos *(exactamente,* 12 daltones). De hecho, es así como se define un dalton: una duodécima parte, exactamente, de la masa del isótopo menos masivo de carbono (carbono-12).

ESCALÓN 53

0,000 000 000 000 000 000 000 000 01 kilogramos (10^{-26} kg)
0,000 01 attogramos (10^{-5} ag)
6 daltones ($10^{0,78}$ D)

Apenas quedan algunas moléculas en este nivel. El hidruro de litio tiene moléculas formadas por dos átomos cada una: una de litio, el tercer elemento más simple, y otra de hidrógeno, el más simple de todos. Cada molécula posee una masa de 0,000 0132 attogramos (8 daltones).

El propio litio aparece en tres isótopos estables, el menor de los cuales tiene una masa de 0,000 008 3 attogramos (5 daltones).

ESCALÓN 54

0,000 000 000 000 000 000 000 000 003 16 kilogramos ($10^{-26,5}$ kg)
0,000 003 16 attogramos ($10^{-5,5}$ ag)
1,9 daltones ($10^{0,28}$ D)

Ahora nos encontramos en el pie de la escalera en cuanto a los átomos se refiere. El segundo elemento más simple es el helio, cuyos átomos no se combinan con ningún otro átomo, ni siquiera entre sí. Los átomos de helio existen en dos isótopos estables. El mayor, y con mucho el más corriente, tiene una masa de 0,000 006 65 attogramos (4 daltones), mientras que el más pequeño la tiene de 0,000 005 attogramos (3 daltones).

Los átomos más pequeños son los de hidrógeno, elemento que se presenta en dos isótopos estables. El mayor (deuterio), y con mucho el menos común, posee una masa de 0,000 003 32 attogramos (2 daltones), mientras que el más pequeño, y más común, tiene una masa de 0,000 001 66 attogramos (1 dalton). En otras palabras, el átomo más pequeño posee una masa levemente superior a una millonésima de attogramo.

Los átomos están compuestos por partículas aún más pequeñas en dimensiones físicas (siempre y cuando «dimensiones físicas» tenga significado a este nivel de la existencia material), y se denominan «partículas subatómicas».

Hay partículas subatómicas que no son consideradas como parte de los átomos ordinarios en circunstancias corrientes, pero que pueden producirse en el laboratorio en muy pequeñas cantidades. Algunas son muy masivas para tratarse de tales objetos, más masivas de hecho que los átomos más pequeños (otro caso de superposición). Algunas

partículas subatómicas tienen masas que se aproximan a los 2 daltones, y son tan masivas como el átomo de deuterio.

(Existe incluso una partícula subatómica, llamada «monopolo magnético», que aún no ha sido detectada, pero que, en la pura teoría, debe tener una masa de 10 000 000 000 000 000 de daltones; es decir, más que una amiba.)

La mayor parte de la masa de un átomo se encuentra en el núcleo atómico, que está compuesto por dos tipos de partículas: protones y neutrones. En ocasiones, se agrupan bajo el nombre de «nucleones» porque se presentan en el núcleo. Los protones y neutrones, junto con todas las subpartículas atómicas que son aún de mayor masa, se llaman «bariones», de una voz griega que significa «pesado».

El neutrón tiene una masa de 0,000 001 674 8 attogramos (1,0087 daltones), y se descompone a moderada velocidad para formar un protón. El protón es ligeramente menor que el neutrón, puesto que tiene una masa de 0,000 001 672 5 attogramos (1,0073 daltones). Parece constituir una regla el que los bariones sólo pueden ser descompuestos en otros bariones de menor masa y, dado que el protón es el barión menos masivo, no puede descomponerse y es estable. (Sin embargo, es posible, según algunas teorías actuales, que los protones se descompongan con extremada lentitud en unos no-bariones menos masivos. Lo harían con tal lentitud que dicha ruptura no ha sido nunca detectada. En la actualidad se están realizando experimentos para intentar detectar tal descomposición, si es que existe.)

Al continuar descendiendo por la escalera de la masa, aquí debemos abandonar el dalton. Albert Einstein, en su teoría de la relatividad, sugirió que masa y energía eran intercambiables, y la experimentación demostró que tal afirmación era del todo correcta. Por tanto, las unidades de energía pueden emplearse para expresar cantidades de masa. Una cantidad de masa muy pequeña es equivalente a una cantidad muy grande de energía, por lo que resulta sencillo encontrar una unidad útil de energía tan pequeña como para tener un significado conveniente para las masas inferiores a las de un átomo.

Por ejemplo, tenemos el «electronvoltio» (simbolizado «ev»), que no forma parte del sistema SI, pero que es usado con frecuencia por los físicos nucleares. Es de hecho, una unidad de energía muy pequeña, tan pequeña que el dalton equivale a 931 500 000 electronvoltios.

ESCALÓN 55

0,000 000 000 000 000 000 000 000 001 kilogramos (10^{-27} kg)
0,000 001 attogramos (10^{-6} ag)
560 000 000 de electronvoltios ($10^{8,75}$ ev)

Menos masivos que el barión menos masivo son los miembros de un grupo de subpartículas atómicas de tamaño intermedio. Se trata de los llamados «mesones», de una voz griega que significa «intermedio». Ninguno de ellos es estable. Los mesones más masivos alcanzan el nivel de masa del Escalón 55. El mesón-eta, por ejemplo, tiene una masa de 0,000 000 98 attogramos, ó 548 800 000 electronvoltios. No llega a las tres quintas partes de la masa de un protón.

ESCALÓN 56

0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 316 kilogramos ($10^{-27,5}$ kg)
0,000 000 316 attogramos ($10^{-6,5}$ ag)
177 000 000 de electronvoltios ($10^{8,25}$ ev)

Esto nos lleva al límite inferior del ámbito del mesón. El menos masivo de los mesones es el mesón-pi (o pión), que posee una masa de 0,000 000 245 attogramos, ó 137 000 000 de electronvoltios. La masa de un pión es ligeramente mayor que la séptima parte de la del protón.

Los mesones y bariones son capaces de interactuar con gran rapidez y, por tanto, se dice que se hallan sujetos a una «fuerte interacción». Genéricamente se denominan «hadrones». Las partículas subatómicas que son (la mayor parte) aún menos masivas que los mesones, sólo pueden actuar comparativamente despacio, y se hallan sometidas a una «interacción débil». Por ello, tales partículas menos activas se denominan «leptones», de una voz griega que significa «débil».

Los leptones más masivos conocidos tienen masas que llegan hasta el ámbito del mesón y, posiblemente, incluso hasta el del barión, pero semejantes leptones con grandes masas son muy inestables.

Por ejemplo, el más común de los leptones masivos es el «muón», que posee una masa de 0,000 000 188 attogramos, ó 105 800 000 electronvoltios.

Posee las tres cuartas partes de la masa de un pión y una novena parte de la masa de un protón.

ESCALÓN 57

0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 1 kilogramos (10^{-28} kg)
0,000 000 1 attogramos (10^{-7} ag)
56 000 000 de electronvoltios ($10^{7,75}$ ev)

Nos hallamos ahora en el ámbito del leptón. Mucho menos masivo que el muón es el electrón, que se encuentra muy por debajo del nivel de masa del Escalón 57. De hecho no existe ninguna partícula en concreto que podamos dar como ejemplo de este estadio del descenso. Sólo cabe hablar de grupos de electrones.

Por ejemplo, cada átomo del elemento uranio contiene 92 electrones. Estos electrones juntos tendrían una masa exactamente por debajo de los 0,000 000 084 attogramos (o unos 47 000 000 de electronvoltios).

ESCALÓN 58

0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 031 6 kilogramos ($10^{-28,5}$ kg)
0,000 000 031 6 attogramos ($10^{-7,5}$ ag)
17 700 000 electronvoltios ($10^{7,25}$ ev)

Cada átomo del elemento bromo contiene 35 electrones. Esos electrones en conjunto tendrían una masa de 0,000 000 031 9 attogramos, más o menos 17 900 000 electronvoltios.

ESCALÓN 59
0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 01 kilogramos (10^{-29} kg)
0, 000 000 01 attogramos (10^{-8} ag)
5 600 000 electronvoltios ($10^{6,75}$ ev)

Cada átomo del elemento sodio tiene 11 electrones. Esos electrones en conjunto tendrían una masa aproximadamente de 0,000 000 01 attogramos, o unos 5 600 000 electronvoltios.

ESCALÓN 60
0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 003 16 kilogramos ($10^{-29,5}$ kg)
0,000 000 003 16 attogramos ($10^{-8,5}$ ag)
1 770 000 electronvoltios ($10^{6,25}$ ev)

Cada átomo del elemento berilio tiene 4 electrones. Esos electrones, considerados en grupo, tendrían una masa de 0,000 000 003 65 attogramos, ó 2 044 000 electronvoltios.

ESCALÓN 61
0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 001 kilogramos (10^{-30} kg)
0,000 000 001 attogramos (10^{-9} ag)
560 000 electronvoltios ($10^{5,75}$ ev)

Por fin hemos llegado a una milmillonésima de attogramo (una billonésima de billonésima de kilogramo); hemos alcanzado casi el nivel de un simple electrón. Un electrón tiene una masa de 0,000 000 000 91 attogramos, ó 511 000 electronvoltios. Una masa de 1/1 837 del protón.

El electrón es la más pequeña partícula conocida con un definido no cero de «masa en reposo». Es decir, posee una masa de 511 000 electronvoltios, incluso cuando está inmóvil respecto a su entorno. Cuando se mueve, posee también energía de movimiento (energía cinética), que, según la teoría de Einstein, equivale a una masa adicional. Dicha masa adicional es (por lo menos, a velocidades ordinarias) muy pequeña en comparación con la masa en reposo.

Existe también un positrón, con una masa en reposo de 511 000 electronvoltios, pero un positrón es únicamente un electrón que lleva una carga positiva en vez de una negativa. Las dos partículas pueden considerarse como imágenes de un espejo, por así decirlo.

Hasta hace poco se sospechaba que el electrón y el positrón eran las partículas-con-masa más pequeñas que pudieran, *posiblemente*, existir. En realidad, hay leptones más pequeños que el electrón y el positrón. Se presentan varios «neutrinos» y «antineutrinos» (por lo menos, se conocen tres de cada uno de ellos), pero se supone que carecen de masa. Es decir, tienen una masa en reposo igual a cero.

Todos los objetos con una masa en reposo igual a cero se mueven, a través del vacío, a la velocidad de la luz, por lo que los neutrinos y antineutrinos deberían tener masas iguales al equivalente de su energía cinética. Pero aún así serían muy pequeñas.

Sin embargo, en 1980, los experimentos parecieron indicar que los neutrinos podían tener una masa en reposo muy pequeña, aproximadamente de una diezmilésima parte de la de un electrón. (Por pequeña que pudiese ser, sería mucho mayor que el equivalente en masa de su energía cinética.) Esos experimentos no son excesivamente sólidos y

podrían demostrarse erróneos. Sin embargo, supongamos que se hallan en lo correcto. Si es así, tendríamos que bajar ocho escalones más para alcanzar el nivel de masa del neutrino...

ESCALÓN 69

0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 1 kilogramos (10^{-34} kg)
0,000 000 000 000 1 attogramos (10^{-13} ag)
56 electronvoltios ($10^{1,75}$ ev)

La masa en reposo del neutrino se encontraría en algún sitio cerca de este nivel de masa del Escalón 69 (una diezbillonésima parte de attogramo), si las determinaciones experimentales siguen en pie.

Sin embargo, aunque los neutrinos muestran poseer masa en estado de reposo, aún siguen existiendo los fotones. Al parecer, incluso en los experimentos más rigurosos, éstos parecen tener una masa en reposo igual a cero. Por tanto, deberían moverse a la velocidad de la luz (en realidad, la misma luz está formada por fotones), y esto les da una energía cinética equivalente a una pequeña cantidad de masa.

La cantidad de energía presente en los fotones depende de su longitud de onda. Cuanto más corta es tal longitud (es decir, cuanto más alta es la frecuencia), mayor es la energía cinética presente y mayor la equivalencia-masa.

Los fotones de onda muy corta tienen una equivalencia-masa igual a cualquiera de las partículas más ligeras. Los fotones de los rayos X, por ejemplo, tienen una equivalencia de masa igual a la masa en reposo de los electrones. No obstante, si deseamos obtener la equivalencia de masa de la luz visible, deberemos bajar un escalón...

ESCALÓN 71

0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 01 kilogramos (10^{-35} kg)
0,000 000 000 000 01 attogramos (10^{-14} ag)
5,6 electronvoltios ($10^{-0,75}$ ev)

Este nivel de masa representaría la equivalencia-masa de los fotones de la luz visible, y ello sería una décima parte de lo que, posiblemente, representaría la masa en reposo de un neutrino.

Podríamos continuar descendiendo la escalera a través de la equivalencia-masa de los fotones de la luz infrarroja y de las ondas de radio de unas longitudes de onda cada vez más largas, pero eso añadiría muy poco a lo ya hecho, y ya hemos llegado lo suficientemente lejos.

En la escalera de la masa hemos avanzado a través de 177 escalones, desde la masa equivalente de un fotón de la luz visible, en la parte más baja, hasta la masa de todo el Universo, en lo alto de todo, cubriendo así 88 1/2 órdenes de magnitud.

LA ESCALERA DE LA DENSIDAD HACIA ARRIBA

ESCALÓN 1
1 kilogramo por litro (10^0 kg/L)

No podemos hacer más que señalar que el volumen y la masa no siempre concuerdan, aunque hemos de suponer que si A es mayor que B, A debería ser, a la vez, más voluminoso y más masivo que B. Pero, naturalmente, no siempre es así.

Tomemos un caso extremo, el de Sirio B, la enana blanca compañera de Sirio, que tiene un volumen menor que el de la Tierra, aunque su masa sea varios cientos de miles de veces mayor que la de nuestro planeta. En realidad, la pequeña Sirio B posee una masa ligeramente superior a la del mucho más voluminoso Sol.

En otras palabras; es posible que una masa de material esté envuelta con mayor cohesión en un volumen pequeño en un caso, y con menor cohesión en un mayor volumen en otro. Por ello, no basta hablar sólo de volumen, o sólo de masa, si se desea conocer todo lo que hay que saber acerca de un objeto. Debemos también emplear una medida que describa cómo la masa está englobada en un volumen dado del objeto en cuestión.

Esto es la «masa por volumen», y al producto se le denomina «densidad». Así, Sirio B es más pequeña que la Tierra en volumen pero enormemente más densa que nuestro planeta y eso es lo que cuenta respecto a la sorprendente gran masa de Sirio B.

En la versión del sistema métrico, la unidad básica de masa es el kilogramo, y la unidad básica de volumen, el metro cúbico. Por tanto, la unidad lógica para la densidad debería ser el número de kilogramos de masa contenidos en un metro cúbico de la mencionada sustancia. Esto se expresa como «kilogramos por metro cúbico», y se simboliza por «kg/m^3».

Sin embargo, supongamos que consideramos la densidad del agua. A fin de cuentas, a menudo nos interesa saber si un objeto es más denso que el agua, o menos denso que la misma.

(Los profanos dicen a menudo «más pesado que el agua», o «más ligero que el agua», pero esto no es lo que, realmente, quieren significar. El hierro es «más pesado» que el agua, y la madera, «más ligera» que el agua, pero un clavo de hierro es más ligero que el valor de una bañera de agua, y una viga de madera es más pesada que el valor de un cubo de agua. Lo que realmente queremos decir es que una determinada sustancia es más pesada o más liviana que el *mismo volumen* de agua, y esto se toma en cuenta en la definición de la densidad, por lo cual deberíamos decir «más denso» y «menos denso».)

Un objeto más denso que el agua se hundirá si lo colocamos en agua, mientras que un objeto menos denso que el agua, flotará si lo situamos sobre la superficie de la misma. Esto es muy importante en un sentido práctico, por lo que sería conveniente elegir las unidades de densidad del agua para obtener unas cifras convenientes.

Por ejemplo, en las unidades norteamericanas comunes habríamos de poder hablar de densidad de tantas «libras por pie cúbico». Sin embargo, un pie cúbico de agua tiene una masa de 62,43 libras, número como se ve, incómodamente desigual. Y a este

respecto, una pulgada cúbica de agua posee una masa de 0,578 onzas, lo cual no es mucho mejor.

Por otra parte, un metro cúbico de agua pesa 1 000 kilogramos, por lo que la densidad del agua es de 1 000 kilogramos por metro cúbico. No es accidental el hecho de que corresponda a un número redondo. Cuando se elaboró el sistema métrico, las unidades de masa y volumen fueron elegidas deliberadamente para tener un valor uniforme de la densidad del agua.

De todos modos, 1 000 es un número muy grande, y tal vez pudiéramos hallar algo mejor.

El litro es una unidad de volumen admitida en la versión SI del sistema métrico, tal y como hemos dicho antes. Un litro es un decímetro cúbico y, en volumen, equivale a 1/1 000 de un metro cúbico. Por tanto, un litro de agua pesa 1/1 000 de 1 000 kilogramos, es decir, 1 kilogramo. Así, pues, la densidad del agua es de 1 kilogramo por litro, y no podríamos tener una cifra más adecuada que ésta.

Cuando el agua se congela y se convierte en hielo, se evidencia que la forma sólida es menos densa que la líquida. El hielo tiene una densidad de 0,917 kilogramos por litro y, por ende, flota en el agua. (El hielo es excepcional en este aspecto. La mayor parte de las sustancias son algo más densas en forma sólida que en líquida.)

El agua es una combinación química de oxígeno y de hidrógeno (H_2O). Un átomo de nitrógeno se combina con tres átomos de hidrógeno para formar el «amoníaco» (NH_3), y un átomo de carbono se combinará con cuatro átomos de hidrógeno para formar el «metano» (CH_4). La densidad del líquido amoníaco es de 0,817 kilogramos por litro, mientras que el metano líquido es de 0,415 kilogramos por litro. En ambos casos, las formas sólidas son, de algún modo, más densas que las formas líquidas, pero, aun así, son menos densas que el agua líquida.

Entre las sustancias comunes se encuentra el dióxido de carbono, una combinación de un átomo de carbono con dos átomos de oxígeno (CO_2). El dióxido de carbono líquido posee una densidad de 1,1 kilogramos por litro, y la del dióxido de carbono sólido es de 1,56 kilogramos por litro. Tanto líquido como sólido, el dióxido de carbono es más denso que el agua líquida. Las formas sólidas del amoníaco, metano y dióxido de carbono son blancas y quebradizas y tienen una apariencia muy semejante al hielo. Por dicha razón, éstas y otras sustancias de esta clase son denominadas como «hielos» o «materiales helados». De ordinario, el hielo es a veces denominado «agua helada» para distinguirlo así de los otros.

En general, las mezclas de hielos tienen una densidad que se aproxima a 1 kilogramo por litro.

La mayor parte de los mundos del Sistema Solar constan, sobre todo, de materiales helados, por lo que su densidad total es aproximadamente de 1 kilogramo por litro. Así, varios satélites de Saturno tienen densidades que van desde 1,0 a 1,4 kilogramos por litro.

Titán, el mayor satélite de Saturno, tiene una densidad, más o menos, de 1,9 kilogramos por litro. Hay dos razones para esto. En primer lugar, cuanto más masivo es un objeto, más grande será probablemente su campo gravitatorio, y más tenderá dicho campo a atraer hacia el interior al objeto y lo forzará a adoptar una disposición más compacta, lo cual incrementará su densidad. De todos modos, tendríamos que suponer que las partes más internas de Titán están comprimidas en una densidad mayor que las capas exteriores, aunque su composición básica fuese la misma. Esto aumentaría la densidad total. Naturalmente, en segundo lugar podría ser que Titán estuviese

compuesto por una considerable mezcla de sustancias que fuesen, significativamente, más densas que los hielos.

De forma similar, y de entre los satélites de Júpiter, Calisto tiene una densidad de 1,81 kilogramos por litro, y la de Ganimedes es de 1,93 kilogramos por litro.

Los planetas gigantes poseen un contenido considerable de hidrógeno y helio, elementos menos densos que los materiales helados. Por otra parte, los campos gravitatorios de los planetas gigantes son lo suficientemente grandes como para producir un enorme efecto de compresión. El resultado es que la densidad total de Neptuno tiene 1,66 kilogramos por litro; la de Júpiter, 1,314 kilogramos por litro; y la de Urano, 1,19 kilogramos por litro. También el Sol tiene una densidad conjunta en este ámbito, y la cifra es de 1,409 kilogramos por litro. Aquí existe un equilibrio entre la tendencia de las enormes masas y el campo gravitatorio a comprimir al Sol y hacerle más denso, y la tendencia de las altas temperaturas a expansionarlo y hacerlo menos denso. El Sol alcanza la región de densidad del Escalón 1. Acercándonos más a nuestro hogar, existen algunos metales en la región de densidad del Escalón 1. El magnesio posee una densidad de 1,738 kilogramos por litro, y el calcio, una de 1,55 kilogramos por litro. Entre los metales comunes, el sodio y el potasio son, en realidad, menos densos que el agua, con unas densidades de 0,971 y 0,862 kilogramos por litro, respectivamente.

ESCALÓN 2
3,16 kilogramos por litro ($10^{0,5}$ kg/L)

De entre los elementos comunes, el azufre posee una densidad de 2 kilogramos por litro. La densidad del carbono varía según la disposición de sus átomos. La disposición más compacta es la que se encuentra en el diamante, y es, por tanto, la forma más densa de carbono. Tiene una densidad hasta de 3,5 kilogramos por litro.

Entre los metales, el aluminio tiene una densidad de 2,7 kilogramos por litro; el bario, 3,5 kilogramos por litro, y el escandio, 3,0 kilogramos por litro.

La mayor parte de los materiales rocosos que forman la corteza de la Tierra tienen densidades que se acercan al ámbito del Escalón 2. La densidad media de la corteza terrestre es de unos 2,8 kilogramos por litro. El manto de la Tierra, que está en un lugar más profundo debajo de la superficie y que soporta sobre él el peso de las capas superiores, es más denso que la corteza gracias al campo de gravedad de la Tierra y llega a una cifra de 4,5 kilogramos por litro.

La densidad media de algunos mundos importantes se encuentra también en esta región. Así, la densidad media de la Luna es de 3,34 kilogramos por litro, lo cual demuestra que, tal vez, sea de naturaleza esencialmente rocosa.

Dos de los satélites galileanos son similares. La densidad media de Europa es de 3,04 kilogramos por litro, y la de Ío, de 3,55 kilogramos por litro. Las sondas enviadas a Júpiter han demostrado que Europa se halla cubierta por completo de una capa de hielo, pero dicha capa no puede ser muy gruesa, o bien la densidad de Europa debería ser la mitad de lo que es.

Entre los planetas, la densidad de Marte es asimismo relativamente baja: de 3,94 kilogramos por litro, lo cual revela también una estructura esencialmente rocosa.

ESCALÓN 3
10 kilogramos por litro (10^1 kg/L)

En general, los metales más densos lo son más que cualquiera de los materiales rocosos y, al nivel de densidad del Escalón 3, ya hemos dejado atrás las rocas. El hierro posee una densidad de 7,874 kilogramos por litro, y un metal similar, el níquel, tiene 8,902 kilogramos por litro.

Se cree que el interior de la Tierra, su «núcleo», está formado por una mezcla, de nueve a uno, de hierro y níquel, y tendría una densidad de unos 8 kilogramos por litro, si estuviese presente en pequeñas cantidades en la superficie terrestre. Sin embargo, el núcleo está comprimido por el peso del manto que se halla encima. Por dicha razón, la densidad total de la superficie de la Tierra es de unos 10,7 kilogramos por litro, con un nivel tal vez de 11,5 kilogramos por litro en su mismo centro.

Como resultado de la presencia de un núcleo metálico, la densidad conjunta de la Tierra es de 5,52 kilogramos por litro, la más alta densidad media de cualquier objeto importante del Sistema Solar. Los únicos otros objetos grandes que se aproximan a la densidad de la Tierra son Mercurio, con una densidad conjunta de 5,42 kilogramos por litro, y Venus, con 5,25 kilogramos por litro. Ambos cuerpos se parecen en estructura a la Tierra, y cada uno de ellos tiene un importante núcleo metálico (algunos meteoros, relativamente pequeños, con una composición fundamentalmente de níquel-hierro, tienen una densidad conjunta de cerca de 8 kilogramos por litro).

Júpiter posee una masa mucho mayor que la Tierra y un campo gravitatorio más intenso. Si su estructura se pareciese a la de la Tierra, debería tener un núcleo aún más denso. Sin embargo, Júpiter está formado por materiales de muy baja densidad en condiciones normales, y toda la compresión gravitacional del planeta confiere a su centro una densidad no superior a los 4,21 kilogramos por litro.

Existen materiales que se encuentran más cerca del nivel de densidad del Escalón 3 que el hierro y el níquel. La densidad del tulio, lutecio y bismuto es, respectivamente, de 9,33, 9,75 y 9,87 kilogramos por litro.

Todos éstos se encuentran en la parte inferior del ámbito, y en la superior se hallan el molibdeno, la plata, el plomo y el talio, con densidades respectivas de 10,22, 10,50, 11,35 y 11,85 kilogramos por litro.

ESCALÓN 4
31,6 kilogramos por litro ($10^{1,5}$ kg/L)

Para tener unas sustancias realmente densas deben cumplirse dos requisitos. En primer lugar, los átomos deben ser masivos y, en segundo lugar, han de estar unidos en una disposición compacta.

A causa del primer requisito, las sustancias realmente densas de la Tierra se encuentran entre los elementos con un elevado «peso atómico». Debido a la segunda condición, un elemento puede ser ligeramente más alto en peso atómico que otro y, sin embargo, algo más bajo en densidad. Seguidamente damos la lista de los metales de densidad más elevada de la Tierra; entre paréntesis figura la masa de un átomo de dichos metales medida en daltones:

Uranio (238)	18,95 kilogramos por litro

Tungsteno (183,9)	18,95 kilogramos por litro
Oro (197)	19,32 kilogramos por litro
Renio (186,2)	21,02 kilogramos por litro
Platino (195)	21,45 kilogramos por litro
Iridio (192,2)	22,42 kilogramos por litro
Osmio (190,2)	22,57 kilogramos por litro

El osmio es la sustancia más densa de la Tierra, pese a lo cual no alcanza el nivel de densidad del Escalón 4.

Los materiales en formas líquidas y sólidas, en las condiciones predominantes en la superficie terrestre, consisten en átomos intactos que se hallan, virtualmente, en contacto. Dichos átomos están formados por pequeños núcleos en el mismo centro del átomo, núcleo que contiene casi toda la masa del átomo, y electrones en las regiones más exteriores que ocupan la mayor parte del volumen del átomo, mientras que, en cambio, contribuyen muy poco a la masa.

Una gran compresión puede forzar a los átomos a una elevada cohesión, lo cual aumentaría la densidad al disminuir el volumen de los átomos individuales. Si en el centro de la Tierra hubiese osmio puro, las presiones que actuasen por encima del núcleo exterior, el manto, la corteza, la hidrosfera y la atmósfera, incrementarían su densidad hasta llegar al nivel del Escalón 4.

ESCALÓN 5
100 kilogramos por litro (10^2 kg/L)

El Sol es mucho más masivo que cualquier planeta, incluso que Júpiter. Así, pues, naturalmente, es de suponer que sus materiales se compriman en el centro hasta alcanzar densidades mucho mayores de las que existen en el centro de Júpiter.

El Sol, al igual que Júpiter, está compuesto en su mayor parte por hidrógeno, el cual, en las condiciones ordinarias terrestres, no es en absoluto denso. Sin embargo, en el núcleo del Sol la fuerza gravitatoria impele hacia abajo la presión de todas las capas superiores, con lo cual tendría fuerza suficiente sobre los átomos de hidrógeno como para aplastarlos y descomponerlos a través de la estructura de los electrones en los confines exteriores del átomo. Los núcleos atómicos son cohesionados mucho más de lo que ocurre cuando los átomos están intactos. Esto significa que mucha más porción de la masa es forzada en un volumen dado y que la densidad aumenta... hacia arriba.

Como veremos más adelante, este aplastamiento de los átomos en el centro de un objeto masivo produce elevadas temperaturas, que expansionan el objeto, lo cual se produciría de otra manera si la densidad fuese menor. Aun así, se estima que la densidad de los materiales en el centro del Sol es de unos 160 kilogramos por litro, o sea, unas siete veces la densidad del osmio en la superficie de la Tierra.

ESCALÓN 6
316 kilogramos por litro ($10^{2,5}$ kg/L)

Cuanto más masiva es una estrella, cabe esperar que tanto más denso sea su núcleo. Son imposibles las mediciones directas de la densidad, pero hay modelos matemáticos

que permiten calcular la densidad en el núcleo (aunque no se puede estar del todo seguro —en ausencia de una medición directa— de que un modelo en particular sea necesariamente correcto).

Según un modelo, cabe suponer que una estrella como Vega, con tres veces la masa del Sol, posea una densidad central de unos 300 kilogramos por litro, muy cerca del doble de la del Sol, y casi también en el nivel de densidad del Escalón 6.

ESCALÓN 7
1 000 kilogramos por litro (10^3 kg/L)
1 tonelada por litro (10^0 t/L)

Una estrella como Achernar, que tiene seis veces la masa del Sol, debería tener una densidad central de unos 730 kilogramos por litro, 4,5 veces la del Sol y a una distancia encuadrada en el nivel de densidad propio del Escalón 7.

ESCALÓN 8
3 160 kilogramos por litro ($10^{3,5}$ kg/L)
3,16 toneladas por litro ($10^{0,5}$ t/L)

Una estrella como Alfa de la Cruz (la estrella más brillante en la constelación de la Cruz del Sur), con unas 16 veces la masa del Sol, debería tener una densidad central de aproximadamente 2,6 megagramos (o toneladas) por litro, 18,6 veces la del Sol, y no demasiado por debajo del nivel de densidad del Escalón 8.

ESCALÓN 9
10 000 kilogramos por litro (10^4 kg/L)
10 toneladas por litro (10^1 t/L)

Es de suponer que las estrellas más masivas, con masas 30 veces superiores a la del Sol y aun más, tengan unas densidades centrales de 7 a 10 toneladas por litro.

Semejantes densidades centrales se encuentran en estrellas que se hallan en la secuencia principal, es decir, estrellas que toman su energía de una firme fusión de hidrógeno en el núcleo (como hace nuestro Sol). A medida que envejecen esas estrellas, la mayor parte de los núcleos de hidrógeno se fusiona en helio, por lo cual el núcleo tiende a hacerse cada vez más denso. Llegado el momento, cuando se han consumido los suficientes núcleos de hidrógeno, las condiciones del centro permiten a los núcleos de helio fusionarse en unos núcleos más complicados aún, y la parte central se hace más densa.

Uno de los resultados de la fusión del helio es que la estrella se va transformando en una «gigante roja». Los núcleos de helio fusionado de las gigantes rojas son considerablemente más densos que los de las estrellas de secuencia principal de fusión de hidrógeno, y, para representarlo, debemos saltar tres escalones...

ESCALÓN 12

316 000 kilogramos por litro ($10^{5,5}$ kg/L)
316 toneladas por litro ($10^{2,5}$ t/L)

Cuanto más masiva sea una estrella al principio, más grande será el tamaño de la estrella gigante en la que se desarrollará y mayor la densidad central. Con el Escalón 12 nos encontramos en el reino de las densidades centrales de las gigantes rojas, y una realmente grande tendrá una densidad central que variará de 300 a 600 toneladas por litro.

No obstante, y llegado el momento, una gigante roja emplea excesiva cantidad de su material fusionable para mantenerse en expansión contra su propia atracción gravitatoria, y entonces se derrumba. El campo gravitacional se intensifica a medida que la estrella se encoge de tamaño (especialmente si lo hace sin una pérdida excesiva de masa), y la densidad total se eleva con rapidez mientras los núcleos atómicos de la estrella se aproximan cada vez más. Si la gigante roja no es muy masiva al comienzo, se colapsa con muy pequeña pérdida de masa y se convierte en un objeto del tamaño de la Tierra, e incluso más pequeño. Entonces tenemos una «enana blanca».

Para representar la densidad media de una enana blanca, hemos de deslizamos un escalón...

ESCALÓN 14

3 160 000 kilogramos por litro ($10^{6,5}$ kg/L)
3,16 kilotoneladas por litro ($10^{0,5}$ kt/L)

La enana blanca más conocida es Sirio B. Fue la primera en ser descubierta y es la más estudiada. Su densidad media es de unas 2,9 kilotoneladas por litro, lo cual la coloca casi en el nivel del Escalón 14. Esa densidad media es 530 000 veces el promedio de densidad de la Tierra y casi 130 000 veces la densidad del osmio en la superficie terrestre.

Naturalmente, esto es sólo la densidad media. Como es de suponer, Sirio B es menos denso que el promedio en sus capas más exteriores, pero más que el promedio en sus capas más internas. Una vez más, nos deslizamos un escalón...

ESCALÓN 16

31 600 000 kilogramos por litro ($10^{7,5}$ kg/L)
31,6 kilotoneladas por litro ($10^{1,5}$ kt/L)

La densidad central de Sirio B se estima en unas 33 kilotoneladas por litro.

Incluso con semejante densidad, los núcleos atómicos se mueven con libertad. La densidad es más de un millón de veces más grande de la que sería en los átomos intactos, pero los núcleos son tan pequeños, que están muy lejos de hallarse en contacto.

Si la densidad aumentara hasta el punto en que los núcleos *estuviesen* en contacto, la densidad del objeto en que se produjera esto sería igual a los mismos núcleos atómicos.

Si una estrella es lo suficientemente masiva desde un principio, en el momento del colapso la creciente intensidad del campo gravitacional haría que los núcleos entrasen en contacto, y en ese punto todos los protones y electrones que existieran se combinarían para formar neutrones y sólo quedarían neutrones. El resultado sería una

«estrella neutrón». Para expresar la densidad de una estrella neutrón, hemos de saltarnos un buen número de escalones...

ESCALÓN 33
10 000 000 000 000 000 de kilogramos por litro (10^{16} kg/L)
10 teratoneladas por litro (10^{1} Tt/L)

Así pues, diez mil billones de kilogramos por litro es la densidad aproximada de las estrellas neutrón y de los núcleos atómicos. Se han detectado unas 300 estrellas neutrón, e incluso hay habitantes más exóticos del zoo astronómico.

Sin embargo, es posible que una estrella realmente masiva se colapse tan enérgicamente que incluso la resistencia de los neutrones en contacto no baste para contrarrestar la rápida intensificación de la compresión gravitatoria. Se colapsan hasta los mismos neutrones y la estrella sigue comprimiéndose hacia el punto cero, sin nada que pueda detener tal proceso.

El resultado es un «agujero negro» en el cual, a medida que el tamaño se encoge hacia el cero, la intensidad gravitatoria en las vecindades de la superficie del agujero negro se incrementa sin límite, al igual que la densidad.

En otras palabras: podemos prever una serie infinita de escalones hacia arriba a partir del Escalón 33, todos dentro del ámbito de densidad de los agujeros negros. Dado que no tiene ninguna utilidad hacer una lista de una interminable serie de escalones de densidad, pondremos fin aquí a la escalera de subida de la densidad.

LA ESCALERA DE LA DENSIDAD HACIA ABAJO

ESCALÓN 1
1 kilogramo por litro (10^0 kg/L)

Hemos regresado a la densidad del agua, al objeto de estar preparados para bajar por la escalera de la densidad.

Dado que los tejidos vivientes están formados, principalmente, por agua, la densidad total de los seres humanos (y de muchas otras formas de vida) se encuentra en el nivel de densidad del Escalón 1. Ésta es la razón de que logremos en el agua «hacer el muerto»: descansando horizontalmente sobre una superficie de agua y derivando a menudo de la misma, con sólo una pequeña parte de nuestro cuerpo por encima de la línea del agua.

ESCALÓN 2
0,316 kilogramos por litro ($10^{-0,5}$ kg/1)
3,16 hectogramos por litro ($10^{0,5}$ hg/L)

El alcohol etílico (el «alcohol» común empleado como bebida) tiene una densidad de 7,9 hectogramos por litro. En principio, debe flotar en el agua si se añade a ésta, pero no lo hace porque es completamente soluble en el agua y, cuando se le añade, se mezcla con ella.

No obstante, si el alcohol etílico se pusiera en una bolsa sellada de hoja delgada de aluminio y se echase ésta al agua, flotaría en ella.

La mayor parte de los compuestos orgánicos son más ligeros que el agua. Las grasas y alcoholes poseen densidades de unos 9 hectogramos por litro y, dado que son insolubles en agua, flotarán en ésta. El contenido en grasa del hombre (y de otros animales) tiende a bajar la densidad total por debajo de la del agua, *y,* así, contrapesará aquellas porciones del cuerpo —principalmente los huesos— que son más densos que el agua. Por ello, una persona robusta flotará con mayor facilidad que una delgada.

No obstante, pocos líquidos y sólidos tienen densidades que se hallen en el nivel del Escalón 2. El menos denso de los sólidos, en condiciones ordinarias, es el litio. (Sus átomos son menos masivos que los de cualquier otro elemento sólido a temperaturas ordinarias.) Su densidad es de 5,34 hectogramos por litro, por lo cual es sólo algo más de la mitad de denso que el agua, pero aún se encuentra un poco por encima del nivel de densidad del Escalón 2.

Como es natural, el litio podría considerarse el sólido menos denso sólo si habláramos de los sólidos *continuos,* y estuviesen en contacto todos los átomos que lo componen. Es posible asimismo considerar sólidos que formen redes sueltas, repletas de pequeños agujeros llenos de aire y poros, a veces tan diminutos, que resultan invisibles a simple vista. El aire añade muy poco a la masa del sólido, por lo cual la porción masiva, el sólido en sí, se extiende sobre un volumen muy poco característicamente grande, y por ello, *en conjunto,* tiene una densidad desacostumbradamente baja.

Así, si pensamos en un sólido común que flota en el agua, diremos en seguida que se trata de la madera. Sin embargo, las diferentes clases de madera varían muchísimo en densidad, según su porosidad. Algunos tipos de madera, muy compactos y no porosos, son más densos que el agua, por lo cual se hundirían si los tirásemos en una charca. Por ejemplo, la madera de ébano puede tener una densidad de hasta 1,33 kilogramos por litro. El pino blanco tiene una densidad tan baja como 3,5 hectogramos por litro, aunque la madera que lo forma sea más densa que el agua. Por lo general el agua penetra en los pequeños espacios de aire de la madera, sólo después de una larga exposición, o sea, cuando se convierte en «madera empapada», y entonces sí puede hundirse.

ESCALÓN 3
0,1 kilogramos por litro (10^{-1} kg/L)
1 hectogramo por litro (10^{0} hg/L)

Por lo general, los materiales sólidos en este ámbito de densidad tienen agujeros y poros en su mayor parte. El corcho (la corteza del alcornoque) posee una densidad de unos 2,5 hectogramos por litro, y aquí la porosidad de la sustancia resulta obvia. Esto es aún más cierto para la madera de balsa, cuya densidad puede ser tan baja como 1,1 hectogramos por litro. La madera de balsa llega a comprimirse entre los dedos.

Una pelota de ping pong —delgada cascara esférica de plástico que contiene aire en su interior— tiene un radio de 1,9 centímetros y una masa de 2,5 gramos. Toda su masa se encuentra en la cascara de plástico, mientras que casi todo su volumen se reduce al aire encerrado. Por tanto, la densidad en conjunto, es tan baja como 0,9 hectogramos por litro.

Y, sin embargo, podemos encontrar sólidos continuos en este nivel de densidad.

Ya he dicho que el litio es el menos denso de los sólidos continuos, *en condiciones ordinarias*. No obstante, hay dos elementos con átomos menos masivos que los de litio. Se trata del helio y del hidrógeno, que son gases en condiciones ordinarias. Sin embargo, en condiciones de gran frío, tanto el helio como el hidrógeno pueden licuarse y llegar a solidificarse. Los líquidos y sólidos formados por helio e hidrógeno son las sustancias menos densas que existen, o que pueden existir. En los dos casos, el líquido es menos denso que el sólido.

El helio líquido tiene una densidad de 1,5 hectogramos por litro, mientras que la del hidrógeno líquido es de 0,7 hectogramos por litro. Una pelota de ping pong hecha de hidrógeno sólido tendría una masa más pequeña que la pelota corriente de ping pong de plástico relleno de aire.

Los gases no son una sustancia continua. Mientras los líquidos y los sólidos están compuestos por átomos y moléculas en contacto, los gases están constituidos por átomos y moléculas que no se hallan en contacto, sino separados por un espacio (mayor o menor) que no contiene materia en absoluto (vacío).

Aunque los átomos de moléculas de gases son tan masivas como las de numerosos sólidos y líquidos, el vacío entre los átomos y moléculas de los gases no contribuye con masa, por lo cual, aunque aumenta el volumen, no lo hace la masa. Por esta razón, los gases, en general, tienen unas densidades más bajas que la de los sólidos y líquidos. Y ésta es la razón de que los sólidos que contienen gases en poros, incluidos agujeros o espacios, sean menos densos que aquellos en que todo esto no existe y se extienden de una forma continua sobre el mismo volumen.

Los gases pueden comprimirse con facilidad; es decir, los átomos y moléculas que los componen se empujan fácilmente unos muy cerca de otros, gracias a la presión. Por tanto, la densidad de los gases aumenta con la presión y, en casos extremos, los átomos y moléculas se empujan unos contra otros hasta que, virtualmente, se ponen en contacto. En dicho caso, los gases se hacen, más o menos, tan densos como los líquidos y los sólidos.

Esto puede llevarse a cabo en el laboratorio, pero también se produce en la Naturaleza. Las atmósferas de un planeta están comprimidas bajo la atracción del campo gravitatorio de dicho planeta. Esas porciones de la atmósfera, cerca de la superficie sólida o líquida del planeta, se hallan comprimidas por el impulso que ejercen hacia abajo las porciones que yacen por encima. Cuando una atmósfera es muy profunda y muy intenso el campo gravitatorio, las densidades del gas se aproximan a las que consiguen los líquidos y los sólidos. Esto, indudablemente, se produce en la atmósfera de los «gigantes gaseosos», sobre todo en Júpiter y, naturalmente, también en las estrellas.

Entre los planetas más pequeños, Venus posee la atmósfera más masiva. Los gases próximos a la superficie están comprimidos hasta 90 veces la densidad que mostrarían cerca de la superficie de la Tierra. La atmósfera de Venus, que en su mayor parte está formada por dióxido de carbono, tiene una densidad superficial que se halla en el ámbito del Escalón 3, con un valor de unos 1,7 hectogramos por litro. Esto hace que su densidad sea más elevada que la del helio líquido.

ESCALÓN 4
0,031 6 kilogramos por litro ($10^{-1,5}$ kg/L)
3,16 decagramos por litro ($10^{0,5}$ dag/L)

El campo gravitatorio de la Tierra tiene una intensidad mucho menor que el de una estrella o de un planeta gigante, y su atmósfera no es particularmente masiva en comparación con la de Júpiter, e incluso la de Venus. Por tanto, la compresión de la atmósfera de la Tierra, al nivel del mar, es moderada, y la densidad del aire es del todo baja, en comparación incluso con el menos denso de los líquidos y de los sólidos.

Todos los gases, en las proximidades de la superficie terrestre, experimentan la misma compresión. Por tanto, la densidad de un gas particular, en las condiciones del nivel del mar, varía de acuerdo con la masa de los átomos o moléculas que la componen. Cuanto más masivos son los átomos o las moléculas, tanto más denso es el gas.

Un gas de moléculas particularmente masivas es el hexafluoruro de uranio, cada molécula del cual está formada por un átomo de uranio y seis de flúor: UF_6. (En realidad, no es un gas en condiciones ordinarias, sino que hierve con mayor facilidad que el agua, formando un vapor que es muy denso incluso para un gas.)

La molécula de hexafluoruro de uranio tiene una masa de 352 daltones, comparado con un promedio de 29 daltones para las moléculas del aire. Por tanto la densidad del vapor del hexafluoruro de uranio está más cerca del nivel de densidad del Escalón 4, aunque, en su mayor parte, sea vacío. En las condiciones del nivel del mar, posee una densidad de 1,6 decagramos por litro, que es casi una cuarta parte de la densidad del hidrógeno líquido.

(Sobre Venus, el vapor de hexafluoruro de uranio estaría comprimido hasta 60 veces su densidad en la Tierra, por lo cual su densidad venusiana llegaría a 1,4 kilogramos por litro, y sería aún más denso que la madera de ébano.)

ESCALÓN 5
0,01 kilogramos por litro (10^{-2} kg/L)
1 decagramo por litro (10^{0} dag/L)

En el nivel de densidad del Escalón 5 nos encontramos ya en el ámbito de los gases más densos. El vapor de yodo (con una molécula formada por dos átomos de yodo, I_2) tiene una densidad de 1,13 decagramos por litro, unas tres cuartas partes de la densidad del hexafluoruro de uranio.

El gas radón está compuesto por átomos simples, pero muy masivos. Es el gas más denso de los compuestos por átomos simples, y también el más denso de los gases a temperaturas ordinarias. (El hexafluoruro de uranio y el yodo deberían calentarse antes de que puedan producir vapores.) La densidad del radón es sólo de 1 decagramo por litro.

ESCALÓN 6
0,003 16 kilogramos por litro ($10^{-2,5}$ kg/L)
3,16 gramos por litro ($10^{0,5}$ g/L)

El tetrafluoruro de azufre (cada molécula contiene un átomo de azufre y cuatro átomos de flúor) posee una densidad de unos 4,82 gramos por litro. El arsenio (cada molécula contiene un átomo de arsénico y tres átomos de hidrógeno, AsH_3), tiene una densidad de unos 3,48 gramos por litro.

ESCALÓN 7
0,001 kilogramos por litro (10^{-3} kg/L)
1 gramo por litro (10^{0} g/L)

Con este escalón llegamos al más familiar de todos los gases. El dióxido de carbono, CO_2 —el gas que nosotros (y todas las otras formas de la vida animal) producimos al respirar y el que las plantas verdes usan para formar sus tejidos— tiene una densidad de unos 1,98 gramos por litro.

El oxígeno (con moléculas compuestas por dos átomos de oxígeno, O_2) es el gas que permite la vida animal; tiene una densidad de 1,43 gramos por litro. El nitrógeno (con moléculas formadas por dos átomos de nitrógeno, N_2) posee una densidad de 1,25 gramos por litro.

El aire es una mezcla de nitrógeno y oxígeno, en una proporción de casi cuatro a una a favor del primero. Así, pues, el aire tiene una densidad de casi 1,29 gramos por litro. La densidad del aire, el gas más común, es, pues de 1/775 la densidad del agua, el elemento líquido más común. El aire tiene 1/55 de la densidad del hidrógeno líquido, el menos denso de todas las sustancias continuas.

Las grandes estrellas tienden a ser menos densas que las pequeñas, mientras que las mayores temperaturas en el núcleo de las estrellas más grandes tienden a expansionar poderosamente el volumen. La gigante estrella gigante roja posee una densidad media

de 1 gramo por litro, o casi exactamente la densidad de la atmósfera de la Tierra al nivel del mar. (Naturalmente, el núcleo de una estrella así es enormemente denso, y las regiones exteriores están muy poco alejadas del vacío.)

ESCALÓN 8

0,000 316 kilogramos por litro ($10^{-3,5}$ kg/L)
3,16 decigramos por litro ($10^{0,5}$ dg/L)

Hay gases considerablemente menos densos que el aire. Por ejemplo, el gas neón, compuesto por simples átomos de neón, tiene una densidad de 9 decigramos por litro, y es sólo las tres cuartas partes de la densidad del nitrógeno, que, a su vez, es el menos denso de los dos componentes principales del aire.

El vapor de agua, a temperatura corriente, tiene una densidad de 8 decigramos por litro; el amoníaco, de 7,6 decigramos por litro y el metano, de 7,1 decigramos por litro. Sin embargo, todos esos gases están sustancialmente por encima del nivel de densidad del Escalón 8, y la verdad es que no hay ningún gas, en condiciones naturales, en la superficie de la Tierra que esté cerca del nivel de densidad del Escalón 8.

Sin embargo, esto no significa que hayamos llegado ya al final. Aún seguiremos adelante.

ESCALÓN 9

0,000 1 kilogramos por litro (10^{-4} kg/L)
1 decigramo por litro (10^{0} dg/L)

Los dos gases menos densos son el hidrógeno y el helio, compuestos por los átomos más pequeños de todos.

El helio está formado por átomos simples de helio, y el hidrógeno, por moléculas, cada una de las cuales contiene dos átomos de hidrógeno (H_2). La densidad del helio es de 1,78 decigramos por litro, mientras que la del hidrógeno es de 0,9 decigramos por litro.

El helio sólo tiene una séptima parte de la densidad del aire, por lo cual flota con mucha facilidad en éste (si no se le permite mezclarse con el aire). Se emplea para llenar globos, desde los de juguete, hasta los que se elevan a la estratosfera con hombres e instrumentos. El hidrógeno, con sólo un catorceavo de la densidad del aire, es más efectivo aún, pero presenta la desventaja de ser inflamable, e incluso es explosivo, mientras que el helio no arde ni reacciona con ninguna clase de mezcla química y en ninguna circunstancia.

ESCALÓN 10

0,000 031 6 kilogramos por litro ($10^{-4,5}$ kg/L)
3,16 centigramos por litro ($10^{0,5}$ cg/L)

Aunque el gas hidrógeno es la sustancia menos densa que existe de forma natural en la superficie de la Tierra, podemos encontrar unas densidades más bajas si abandonamos la superficie de nuestro planeta.

A medida que subamos a través de la atmósfera, menos nitrógeno encontraremos y, por tanto, menos pesada será la atmósfera que comprime la región inferior. En consecuencia, el aire se hará cada vez menos denso, a medida que ascendamos.

Para cuando hayamos llegado a unos 25 kilómetros por encima de la superficie terrestre (tres veces la altura del pico del monte Everest), la densidad del aire en tomo de nosotros se hallará en las proximidades de los 3 centigramos por litro, el nivel de densidad del Escalón 10. Como es natural, mucho antes de llegar a esa altura, el aire es insuficientemente denso como para permitir la vida, y los seres humanos llegarían vivos a dichas elevaciones sólo si viajasen en unos vehículos estancos con una atmósfera a la densidad normal.

A esa altura nos hallamos por encima de la troposfera, la región de la atmósfera inferior en la que se producen los cambios de tiempo, en donde se presentan las nubes y las precipitaciones. Nos encontramos, pues, en la estratosfera, y una porción de la misma es comparativamente rica en ozono (variedad de oxígeno con tres átomos en la molécula, O_3, que bloquea la peligrosa porción de la radiación ultravioleta del Sol). Esta región se llama a veces «ozonosfera».

ESCALÓN 11

0,000 01 kilogramos por litro (10^{-5} kg/L)
1 centigramo por litro (10^{0} cg/L)

A 35 kilómetros por encima de la superficie de la Tierra, la densidad del aire es de cerca de 1 centigramo por litro.

El planeta Marte tiene una atmósfera muy sutil, según los tipos de la Tierra, y la densidad de la atmósfera marciana (en su mayor parte, dióxido de carbono) en la superficie planetaria es de sólo 1 centigramo por litro. La atmósfera de Marte no permitiría la vida animal de la Tierra, ni aunque estuviese formada por oxígeno puro, lo cual no es el caso.

ESCALÓN 12

0,000 003 16 kilogramos por litro ($10^{-5,5}$ kg/L)
3,16 miligramos por litro ($10^{0,5}$ mg/L)

La densidad de la atmósfera de la Tierra alcanza el nivel del Escalón 12 a unos 45 kilómetros de altura.

ESCALÓN 13

0,000 001 kilogramos por litro (10^{-6} kg/L)
1 miligramo por litro (10^{0} mg/L)

Ésta es la densidad de la atmósfera terrestre a poco más de 50 kilómetros por encima de la superficie de la Tierra. A esta altura, el 98 por 100 de la atmósfera se halla por debajo de nosotros. Por encima tendríamos el 2 por 100 de la «atmósfera superior».

Las muy grandes estrellas gigantes rojas tienen una densidad media de 1 miligramo por litro. Estrellas como Antares o Betelgeuse —cuyo brillo rojo destaca en el universo—, son en realidad, unos muy grandes volúmenes de materia gaseosa, de densidad inferior a la de la estratosfera. En realidad, la densidad de la superficie que

vemos es mucho menor que la de la estratosfera terrestre. Naturalmente, el núcleo de semejante gigante rojo se halla en las densidades de una enana blanca.

Podríamos seguir moviéndonos a través de las escalas de densidades hacia abajo, llegando cada vez a mayores alturas por encima de la superficie terrestre, pero esto nos dejaría, en su mayor parte, muy poco interesante que decir. Por tanto, saltemos los escalones que sean necesarios hasta...

ESCALÓN 15
0,000 000 1 kilogramos por litro (10^{-7} kg/L)
100 microgramos por litro (10^{2} µg/L)

A unos 70 kilómetros por encima de la superficie terrestre, la densidad es de unos 100 microgramos por litro. A esta altura, la mayor parte de los escasamente esparcidos átomos de la atmósfera han absorbido fuertes radiaciones del Sol y perdido los electrones. Los electrones libres transportan una carga eléctrica negativa, y los fragmentos remanentes atómicos, menos los electrones expulsados, llevan una carga eléctrica positiva. Esos fragmentos iónicos se llaman «iones», y esta región de la atmósfera se denomina «ionosfera».

La ionosfera refleja las ondas de radio que están más allá de la región de las microondas. Esto permite que las ondas de radio puedan emplearse en las comunicaciones terrestres para alcanzar más allá parte de la curva de la superficie terrestre, cuando rebotan entre la superficie de la Tierra y la ionosfera. La ionosfera refleja también gran parte de la radiación de ondas de radio procedente del Universo, e impide que alcancen la superficie de la Tierra...

ESCALÓN 25
0,000 000 000 001 kilogramos por litro (10^{-12} kg/L)
1 nanogramo por litro (10^{0} ng/L)

A 160 kilómetros de altura de la Tierra, la densidad atmosférica es de 1 nanogramo por litro. Cuanto menor es la densidad de cualquier gas, menor es la resistencia a los objetos que se mueven a través del mismo.

Un objeto que se desplace lo suficientemente aprisa en una senda horizontal por encima de la superficie de la Tierra, no es preciso que caiga al suelo. La atracción gravitatoria le hace caer, naturalmente, pero esa caída —si el objeto avanza lo suficientemente aprisa en dirección a la horizontal— se adecuará a la curva de la superficie esférica. El objeto en movimiento permanece así a una distancia fija por encima de la superficie curva, aunque llegue a caer. El objeto se halla «en órbita» por encima de la Tierra.

No obstante, si el objeto se acerca tanto a la superficie de la Tierra que llega a pasar a través de la atmósfera, cada átomo es golpeado si aumenta de velocidad, como resultado de la colisión. El átomo gana inercia, inercia que pierde el objeto que gana velocidad. La cantidad de inercia por un átomo es totalmente insignificante, pero los átomos son alcanzados a billones en cada corto intervalo de tiempo, y la inercia del objeto en órbita (y, por ende, su velocidad), queda lentamente disminuida. El objeto no avanza lo suficientemente de prisa como para adecuarse a la curva de la Tierra, gira en espiral hacia abajo y, eventualmente, colisiona con la superficie. Su órbita ha «decaído».

Cuanto mayor sea la altura a la que se establezca una órbita, menos densa será la atmósfera, menor será la colisión de los átomos con el objeto en movimiento y más tardará la velocidad en disminuir, hasta el punto de una total decadencia orbital.

A una densidad de 1 nanogramo por litro, la resistencia del aire es lo suficientemente pequeña como para permitir a un satélite en órbita que siga en la misma durante un considerable período de tiempo, por lo cual los satélites más logrados, en general, se acercan a la superficie terrestre a no más de 160 kilómetros.

ESCALÓN 31
0,000 000 000 000 001 kilogramos por litro (10^{-15} kg/L)
1 picogramo por litro (10^{0} pg/L)

A unos 450 kilómetros de altura por encima de la superficie terrestre, la densidad de la atmósfera ha caído hasta 1 picogramo por litro, una milésima parte de la densidad a una altura de 160 kilómetros.

Aquí cabe esperar que los satélites en órbita permanezcan en ella durante años, aunque no para siempre. El *Skylab* —la estación espacial en órbita en la que tres astronautas norteamericanos permanecieron durante meses juntos, en tres ocasiones diferentes— fue colocado en 1973, en una órbita que oscilaba entre los 400 y los 425 kilómetros por encima de la superficie terrestre, pese a lo cual, hacia mediados de 1979, se precipitó y se estrelló contra la Tierra.

Todas las atmósferas, incluso las que son más espesas que la de la Tierra, se hacen cada vez menos densas con la altura y, eventualmente, alcanzan esos insignificantes niveles. Hasta la atmósfera del Sol llega a atenuarse por completo.

A unos 2 megámetros de altura sobre la superficie visible del Sol pasamos a una región de transición por encima de la cual se halla la atmósfera superior del Sol, o «corona». En la porción más inferior de la corona, la densidad de los vestigios de materia que contiene se halla también en el ámbito de 1 picogramo por litro...

ESCALÓN 37
0,000 000 000 000 000 001 kilogramos por litro (10^{-18} kg/L)
1 femtogramo por litro (10^{0} fg/L)

A 1 megámetro aproximadamente por encima de la superficie terrestre, la densidad de la atmósfera ha caído otros tres órdenes de magnitud, hasta 1 femtogramo por litro.

A esta altura llegamos a la porción de la atmósfera que se denomina «exosfera», donde los átomos y moléculas de gas se hallan tan separados y tan débilmente dispersados, que es sumamente pequeña la probabilidad de que choquen entre sí mientras se desplazan al azar. Se mueven virtualmente en órbitas independientes en torno de la Tierra.

Mientras los gases considerablemente más densos que éstos se encuentran, por lo general, en la proximidad de los planetas y estrellas, hay ligeros indicios de gas también en ciertas regiones del espacio entre las estrellas. Estas «nubes interestelares» se hallan, en su parte más densa, en el ámbito de un femtogramo por litro, e incluso las nubes más densas de esta clase representan sólo el equivalente de la exosfera de la Tierra. Sin embargo, las nubes interestelares son tan enormes en volumen, y su masa total es tan grande, que desempeñan un papel importante en la evolución cósmica.

A partir de las nubes de gas interestelar se condensaron las estrellas y sus sistemas planetarios, de la misma forma que nuestro Sistema Solar hace muchos eones. Cómo se efectúa semejante condensación a partir de un gas tan rarificado, con campos gravitatorios tan atenuados, es algo que los astrónomos aún tratan de averiguar.

Asimismo, también sabemos ahora que hay moléculas en las nubes de gas, incluyendo algunas sorprendentemente complejas y formadas hasta por siete o más átomos. Cómo han podido formarse si se tiene en cuenta que a esas densidades se producen muy raramente las colisiones atómicas, constituye otro rompecabezas...

ESCALÓN 41
0,000 000 000 000 000 000 01 kilogramos por litro (10^{-20} kg/L)
10 attogramos por litro (10^{1} ag/L)

Los gases de densidad extremadamente baja se encuentran no sólo a apreciables distancias por encima de las superficies de los mundos, o en las nubes de gases interestelares, sino también en la superficie de la Tierra, puesto que los forman los seres humanos. En los tres últimos siglos, los científicos han aprendido a extraer cada vez con mayor eficiencia el aire de volúmenes cerrados, hasta obtener el vacío.

La palabra «vacío» procede de una voz latina, y un vacío realizado por el hombre carece comparativamente de materia —mucho más cerca del vacío que el medio ambiente circundante—. Sin embargo, no se alcanza un vacío total. El vacío mejor realizado por el hombre tiene una densidad de unos 10 attogramos por litro, lo cual se produce de forma natural, en la densidad de la atmósfera terrestre, a unos 10 megámetros de altura por encima de la superficie.

A tal altura nos encontramos en la capa más inferior de la «magnetosfera», donde se presentan las corrientes de unas partículas cargadas eléctricamente, que se mueven a lo largo de las líneas de fuerza del campo magnético de la Tierra.

En este escalón sería más conveniente empezar a buscar densidades representadas por el número de átomos por litro. El átomo más simple es el del hidrógeno, y éste es, con mucho, el átomo más común del Universo. Si consideramos que los escasos indicios de gas que se presentan en la Naturaleza son por completo de hidrógeno —y no andaremos muy equivocados—, podemos decir que una densidad de 10 attogramos por litro representaría 6 000 000 de átomos de hidrógeno por litro. Podemos simbolizar por «H/L» los «átomos de hidrógeno por litro».

ESCALÓN 47
0,000 000 000 000 000 000 000 01 kilogramos por litro (10^{-23} kg/L)
0,01 attogramos por litro (10^{-2} ag/L)
6 000 átomos de hidrógeno por litro ($10^{3,78}$ H/L)

Si seguimos avanzando hacia abajo, la densidad de la atmósfera no cae a cero. Si nos apartamos de la Tierra hasta una distancia igual a la de la órbita de la Luna, veremos que la densidad de la atmósfera tiende a nivelarse, dado que la propia Tierra, y hasta la Luna, se mueven en torno al Sol *dentro* de ligeros vestigios de la corona del Sol.

En otras palabras; el espacio interplanetario al menos en las proximidades de la Tierra, tiene una densidad de unos 6 000 átomos de hidrógeno por litro. Objetos que se mueven en una órbita más cerca del Sol, como Venus y Mercurio, se desplazarán a

través de unas mayores densidades. Los que se mueven en órbitas más alejadas del Sol, como Marte y los planetas más exteriores, avanzarán a través de densidades menores.

A semejantes tenues densidades de gas (y considerando la vasta masa de los grandes asteroides), las órbitas planetarias no decaerán durante miles de millones de años...

ESCALÓN 49

0,000 000 000 000 000 000 000 001 kilogramos por litro (10^{-24} kg/L)
0,001 attogramos por litro (10^{-3} ag/L)
600 átomos de hidrógeno por litro ($10^{2,78}$ H/L)

En este estadio hemos de abandonar ya el Sistema Solar.

La Galaxia está llena de centenares de miles de millones de estrellas y, presumiblemente, de un más vasto número de objetos más pequeños y no luminosos. Sin embargo, se hallan tan ampliamente esparcidos en un volumen tan enorme, que la Galaxia es, ante todo, un espacio vacío.

Si toda la materia de la Galaxia se hallase esparcida al azar sobre el vasto volumen de la misma, la densidad media sería de unos 600 átomos de hidrógeno por litro. La Galaxia contiene, en promedio, sólo 1/10 000 de dicha materia en un volumen dado, como el mejor vacío que el hombre puede conseguir...

ESCALÓN 51

0,000 000 000 000 000 000 000 000 1 kilogramos por litro (10^{-25} kg/L)
0,000 1 attogramos por litro (10^{-4} ag/L)
60 átomos de hidrógeno por litro ($10^{1,78}$ H/L)

Naturalmente, en la Galaxia, la materia *no* se halla distribuida al azar. Tal vez, por lo general, el 90 por 100 de la materia se halle localizada en el interior de las estrellas y los planetas. Sólo un 10 por 100 se distribuye a través de los espacios interestelares.

La actual densidad del espacio interestelar, tal vez sea, en promedio, de 60 átomos de hidrógeno por litro. Esto es el equivalente de 60 000 átomos de hidrógeno por metro cúbico (H/m^3), la unidad de densidad a la que ahora cambiaremos...

ESCALÓN 60

0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 003 16 kilogramos por litro ($10^{-29,5}$ kg/L)
0,000 000 003 16 attogramos por litro ($10^{-8,5}$ ag/L)
2 átomos de hidrógeno por metro cúbico ($10^{0,3}$ H/m^3)

Ahora debemos abandonar la Galaxia y considerar todo el Universo.

Las galaxias se hallan distribuidas tan ampliamente, que hay más espacio en el exterior de las galaxias que en su interior. Si toda la materia de todas las galaxias del Universo se esparciese al azar, ¿cuál sería la densidad media?

En la actualidad, los astrónomos no están seguros. Una cifra clave la forma una densidad de unos 3 átomos de hidrógeno por metro cúbico, densidad algo por encima del nivel del Escalón 60. Si la densidad fuese algo inferior a ésta, el Universo continuaría expansionándose para siempre Se trataría de un «Universo abierto». Si fuera algo más alta que lo anterior, llegado el caso se contraería de nuevo, y entonces se trataría de un «Universo cerrado».

Todo depende de que los neutrinos tengan o no una pequeña cantidad de masa. Si la poseen, el Universo, probablemente, es cerrado; en caso contrario sería abierto.

Digamos, incidentalmente, que 2 átomos de hidrógeno por metro cúbico es el equivalente de 3 000 000 000 de átomos de hidrógeno por kilómetro cúbico (H/km^3), y ahora nos cambiaremos a esa unidad...

ESCALÓN 65

0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 01 kilogramos por litro (10^{-32} Kg/L)
0,000 000 000 01 attogramos por litro (10^{-11} ag/L)
6 000 000 de átomos de hidrógeno por kilómetro cúbico ($10^{6,78}$ H/km^3)

Si los neutrinos quedaran fuera de los cálculos, los astrónomos sospechan que la densidad media del Universo debería encontrarse en las proximidades de los 6 millones de átomos de hidrógeno por kilómetro cúbico, o sea, sólo 1/500 del valor requerido para cerrar el Universo. Esto asciende a 1 átomo de hidrógeno en 167 metros cúbicos, ó 167 000 litros. El Universo es, simplemente, un vacío (de promedio) rarificado de forma increíble...

ESCALÓN 69

0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 1 kilogramos por litro (10^{-34} kg/L)
0,000 000 000 000 1 attogramos por litro (10^{-13} ag/L)
60 000 átomos de hidrógeno por kilómetro cúbico ($10^{4,78}$ H/km^3)

Cerca del 99 por 100 de la materia del Universo la contendrían las diversas galaxias. En tal caso, la densidad del espacio intergaláctico estaría en promedio, en las proximidades de los 60 000 átomos de hidrógeno por kilómetro cúbico. Esto equivaldría a 1 átomo de hidrógeno en unos 17 000 metros cúbicos, ó 17 000 000 de litros, y ya no podemos avanzar más bajo de esta densidad.

Así, en 100 escalones que han cubierto 50 órdenes de magnitud, hemos pasado de la inimaginablemente baja densidad del espacio intergaláctico, a la inimaginablemente alta densidad de una estrella neutrónica. Aun así, hemos dejado aparte los ámbitos de densidad de los agujeros negros, lo cual podría hacer infinito el número de escalones.

LA ESCALERA DE LA PRESIÓN HACIA ARRIBA

ESCALÓN 1
1 000 pascales (10^3 Pa)
1 kilopascal (10^0 kPa)

La presión es una fuerza ejercida sobre un área determinada.

La fuerza más corriente es el peso. Así, al hablar de presión, hemos de referirnos a la presión producida por el peso (al nivel del mar) de una columna de mercurio de un peso determinado que descansa sobre un área determinada. Hemos de hablar, por ejemplo, de la presión de una columna de mercurio de 7,6 decímetros de altura que descanse sobre un área de 1 metro cuadrado. Tal columna de mercurio ejercería una presión de 10 300 kilogramos (de peso) por metro cuadrado.

Aunque es corriente hablar de presión como peso por área, como tantas libras por pulgada cuadrada o tantos gramos por centímetro cuadrado, esto no es apropiado según la versión SI del sistema métrico. Gramos y kilogramos (o libras, pongamos por caso) son unidades de masa, y no deberían usarse como peso. El peso es una fuerza y, en la versión SI, la fuerza se mide en «newtones» (nombre dado por Isaac Newton, el primero que calculó el concepto correcto matemático de una fuerza).

Un newton es 1 kilogramo-metro por segundo por segundo. En otras palabras, un newton es la cantidad de fuerza requerida para comunicar a 1 kilogramo una aceleración de 1 metro por segundo por segundo. Bajo la fuerza firme y continuada de 1 newton, algo con una masa de 1 kilogramo, empezando desde el punto de reposo (si pasamos por alto la fricción y la resistencia del aire), se moverá a una velocidad de 1 metro por segundo al final de 1 segundo, 2 metros por segundo al final de 2 segundos, 3 metros por segundo al final de 3 segundos, etcétera.

Es posible calcular que una columna de mercurio de 7,6 decímetros de altura ejercerá una presión, debida a su propio peso, de 101 325 newtones por metro cuadrado (n/m^2), ó 101,325 kilonewtones por metro cuadrado (kN/m^2).

En la versión SI, 1 newton por metro cuadrado es, para mayor facilidad, equivalente a 1 pascal (simbolizado por «Pa»), en honor a Blaise Pascal, físico francés que realizó importantes descubrimientos, en conexión con la presión del aire. Así, pues, podemos decir que una columna de mercurio de 7,6 decímetros de altura ejerce una presión de 101,325 kilopascales (kPa).

Un pascal es una unidad muy pequeña de presión, dado que es la ejercida por una columna de mercurio de 7,5 micrómetros de altura. Dado que el agua es 1/13,6 tan densa como el mercurio, una columna de agua de 13,6 x 7,5 o 102 micrómetros de altura (e incluso esto es una delgada película que no es realmente visible con el ojo sin ayuda), producirá 1 pascal de presión. Un kilopascal de presión será producido por una columna de mercurio de 7,5 milímetros de altura o una columna de agua de 1,02 decímetros de altura.

Por mor de la conveniencia, empezaremos la escalera por 1 kilopascal. Esto nos coloca en el ámbito de la presión atmosférica en la superficie del planeta Marte. La atmósfera marciana tiene sólo una centésima parte de la densidad de la atmósfera de la

Tierra. Y, lo que es más, la atmósfera marciana es atraída hacia abajo por la gravedad de la superficie de Marte, que tiene sólo dos quintas partes de intensidad respecto de la gravedad de la Tierra. En consecuencia, la presión de la atmósfera marciana en la superficie de Marte es, como máximo, sólo de unos 0,8 kilopascales.

Cuando la temperatura marciana está en su punto más bajo (cuando Marte se halla más alejado del Sol), se hiela el dióxido de carbono suficiente —que constituye el 95 por 100 de la atmósfera marciana— como para reducir la presión atmosférica hasta 0,5 kilopascales.

La presión de la atmósfera terrestre a nivel del mar es mucho más elevada que esto, pero, a medida que ascendemos a partir de la superficie, tanto más por debajo de nosotros está la atmósfera, y tanto menos por encima, por lo cual la presión sobre nosotros disminuye mucho. A una altura de 50 kilómetros sobre el nivel del mar, la presión atmosférica es de un kilopascal.

ESCALÓN 2

3 160 pascales ($10^{3,5}$ Pa)
3,16 kilopascales ($10^{0,5}$ kPa)

A medida que se avanza hacia abajo a través de la atmósfera de la Tierra, aumenta la presión. A 25 kilómetros por encima de la superficie terrestre, la presión atmosférica es de 3,15 kilopascales.

ESCALÓN 3

10 000 pascales (10^4 Pa)
10 kilopascales (10^1 kPa)

A 15 kilómetros por encima de la superficie terrestre (una altura 1,7 veces superior a la de la cumbre del monte Everest), la presión atmosférica es de 10 kilopascales.

ESCALÓN 4

31 600 pascales ($10^{4,5}$ Pa)
31,6 kilopascales ($10^{1,5}$ kPa)

A 8 kilómetros por encima de la superficie terrestre (más o menos la altura del pico del monte Everest), la presión atmosférica se halla cerca de los 31,6 kilopascales.

ESCALÓN 5

100 000 pascales (10^5 Pa)
100 kilopascales (10^2 kPa)
1 atmósfera (10^0 atm)

En el nivel de presión del Escalón 5 estamos muy cerca del valor tipo de la presión atmosférica de la Tierra al nivel del mar; ésta es, realmente, de 101,325 kilopascales. Por eso he empezado esta sección tratando con una columna de mercurio de 7,6 decímetros de altura. Esto es lo que produce una «atmósfera tipo» de presión. La versión SI permite el uso de «1 atmósfera tipo» como unidad de presión igual a 101,325

kilopascales, y se simboliza por «atm». Omitiré la palabra «tipo» y, para mayor facilidad en estas escaleras, diré que «1 atmósfera» es igual a 100 kilopascales.

Si consideramos los mundos del Sistema Solar menos masivos que la Tierra, y de campos gravitatorios menos intensos, dos de ellos tienen presiones atmosféricas mayores que las de la de la Tierra.

Uno de éstos (y el menor) es el satélite más grande de Saturno, Titán, que sólo tiene una quinta parte de la masa de la Tierra y una gravedad superficial de sólo un noveno de la terrestre. Aun así, y gracias a su baja temperatura, Titán puede retener una densa atmósfera (en su mayor parte de nitrógeno), con una presión superficial de 160 kilopascales, por lo menos, ó 1,6 atmósferas.

ESCALÓN 6
316 000 pascales ($10^{5,5}$ Pa)
316 kilopascales ($10^{2,5}$ kPa)
3,16 atmósferas ($10^{0,5}$ atm)

Al llegar aquí pasamos mucho más allá del ámbito de cualquier presión que pueda ejercer la atmósfera de la Tierra.

Sin embargo, el agua también ejerce una presión. Si se sumerge un objeto en agua, el peso de ésta por encima del mismo ejercerá una presión sobre todas las partes de su superficie. Cuanto más profundo se halle en un lago o en el océano, mayor será el peso del agua por encima del objeto, y mayor también la presión ejercida sobre él.

Una columna de agua de 10,332 metros de altura pesaría tanto como una columna de aire de idéntica área de corte transversal, proyectándose hacia arriba los numerosos kilómetros hasta el final de la atmósfera. Por tanto, la presión del agua en que un objeto está sumergido es igual a 100 kilopascales, ó 1 atmósfera, por cada 10,332 metros de inmersión.

Si un objeto está 22,3 metros por debajo de la superficie de un lago, experimentará en su superficie una presión de 316 kilopascales (3,16 atmósferas), de las cuales, 216 kilopascales (2,16 atmósferas) será el resultado del peso del agua por encima, y los restantes 100 kilopascales (1 atmósfera), el resultado de la presión del aire transmitida a través del agua.

Dado que el agua del océano (al contener sal disuelta) es un 3 por 100 más densa que el agua dulce de los lagos, un objeto necesitaría sumergirse bajo 21,7 metros de agua marina para experimentar una presión de 316 kilopascales (3,16 atmósferas).

ESCALÓN 7
1 000 000 de pascales (10^{6} Pa)
1 megapascal (10^{0} Mpa)
10 atmósferas (10^{1} atm)

Un objeto sumergido en una profundidad de 9 decámetros por debajo de la superficie del océano está sometido a una presión de 1 megapascal, o 10 atmósferas.

ESCALÓN 8

3 160 000 pascales ($10^{6,5}$ Pa)
3,16 megapascales ($10^{0,5}$ MPa)
31,6 atmósferas ($10^{1,5}$ atm)

Un objeto sumergido a una profundidad de 3 hectómetros por debajo de la superficie del océano, está sometido a una presión de unas 3,16 megapascales (31,6 atmósferas).

ESCALÓN 9

10 000 000 de pascales (10^7 Pa)
10 megapascales (10^1 MPa)
100 atmósferas (10^2 atm)

Ya he dicho que hay dos objetos más pequeños que la Tierra con una presión atmosférica superior a la nuestra. Uno es Titán, y el otro, naturalmente, Venus. La presión de la superficie de Venus, bajo una gruesa atmósfera —en su mayor parte de dióxido de carbono—, es de unos 9 megapascales (90 atmósferas).

Semejante presión puede encontrarse en la Tierra a una profundidad de unos 8,9 hectómetros por debajo de la superficie del océano.

Una presión actual de 10 megapascales (100 atmósferas), que se encuentra a nivel de presión del Escalón 9, se halla a una profundidad de casi 1 kilómetro por debajo de la superficie del océano.

ESCALÓN 10

31 600 000 pascales ($10^{7,5}$ Pa)
31,6 megapascales ($10^{1,5}$ MPa)
316 atmósferas ($10^{2,5}$ atm)

Una presión de 31,6 megapascales (316 atmósferas) se encuentra a una profundidad de unos 3 kilómetros por debajo de la superficie oceánica. Esto se acerca a la profundidad media del océano, y con ello nos encaminamos hacia la zona abisal.

ESCALÓN 11

100 000 000 de pascales (10^8 Pa)
100 megapascales (10^2 MPa)
1 000 atmósferas (10^3 atm)

Nos hallamos ahora a la presión encontrada en las fosas más profundas de los océanos. La presión en el fondo de la fosa de las Marianas, en el océano Pacífico, es de unos 108,4 megapascales, ó 1 084 atmósferas.

ESCALÓN 12
316 000 000 de pascales ($10^{8,5}$ Pa)
316 megapascales ($10^{2,5}$ MPa)
3 160 atmósferas ($10^{3,5}$ atm)

Con este escalón pasamos más allá del aire y del mar en la Tierra, pero aún queda el cuerpo sólido del Planeta en sí. La sustancia rocosa que constituye la corteza de la Tierra es más densa que el océano acuoso, por lo cual una columna determinada de la misma pesará más y ejercerá mayor presión que el mismo océano.

Por ejemplo, una roca localizada a unos 10 kilómetros por debajo de la superficie de la sólida corteza terrestre estaría sometida a una presión de unos 316 megapascales, ó 3 160 atmósferas. O sea, una presión tres veces mayor que la de la parte más profunda del suelo oceánico, aunque esto ocurra a unos 11 kilómetros por debajo de la superficie del océano.

ESCALÓN 13
1 000 000 000 de pascales (10^{9} Pa)
1 gigapascal (10^{0} GPa)
10 000 atmósferas (10^{4} atm)

Aquí nos encontramos a unos 36 kilómetros por debajo de la superficie sólida de la Tierra, llegando a una presión de un gigapascal, ó 10 000 atmósferas. Nos hallamos exactamente casi en el fondo de la corteza de la Tierra y en la parte superior del manto subyacente.

ESCALÓN 14
3 160 000 000 de pascales ($10^{9,5}$ Pa)
3,16 gigapascales ($10^{0,5}$ GPa)
31 600 atmósferas ($10^{4,5}$ atm)

Nos situamos ahora profundamente en el interior del manto de la Tierra. A una profundidad de 100 kilómetros por debajo de la superficie sólida de la Tierra, la presión es de unos 3,16 gigapascales, ó 31 600 atmósferas.

ESCALÓN 15
10 000 000 000 de pascales (10^{10} Pa)
10 gigapascales (10^{1} GPa)
100 000 atmósferas (10^{5} atm)

A 300 kilómetros por debajo de la superficie de la Tierra, la presión es de unos 10 gigapascales, ó 100 000 atmósferas.

ESCALÓN 16
31 600 000 000 de pascales ($10^{10,5}$ Pa)
31,6 gigapascales ($10^{1,5}$ GPa)
316 000 atmósferas ($10^{5,5}$ atm)

A 800 kilómetros por debajo de la superficie de la Tierra, la presión es de unos 31,6 gigapascales, ó 316 000 atmósferas.

ESCALÓN 17
100 000 000 000 de pascales (10^{11} Pa)
100 gigapascales (10^{2} GPa)
1 000 000 de atmósferas (10^{6} atm)

A 2,2 megámetros por debajo de la superficie de la Tierra, a un tercio del camino hacia el centro de la misma, la presión es de unos 100 gigapascales, ó 1 000 000 de atmósferas.

ESCALÓN 18
316 000 000 000 de pascales ($10^{11,5}$ Pa)
316 gigapascales ($10^{2,5}$ GPa)
3 160 000 atmósferas ($10^{6,5}$ atm)

Al llegar aquí nos hallamos más allá del manto y a gran profundidad en el interior del núcleo metálico de la Tierra. A una profundidad de 5 gigámetros por debajo de la superficie terrestre, la presión es de unos 316 gigapascales, ó 3 160 000 atmósferas.

Incluso estamos casi en el límite de lo que la Tierra puede ofrecernos en cuanto a la presión. En el auténtico centro de la Tierra, a una profundidad de 6,371 gigámetros, la presión es de unos 370 gigapascales, ó 3 700 000 atmósferas.

Naturalmente, los cuatro planetas gigantes son mucho más masivos que la Tierra y en sus interiores deben de existir unas presiones superiores a las que reinan en cualquier lugar de la Tierra.

Por ejemplo, en el caso de Saturno, una presión de 370 gigapascales, ó 3 700 000 atmósferas, se alcanza a una profundidad de 30 gigámetros por debajo de la superficie visible del Planeta. Esto es casi cinco veces la profundidad suficiente para producir la misma presión en la Tierra, lo cual resulta extraño, dado que el campo gravitatorio de Saturno posee casi un centenar de veces la intensidad del de la Tierra. Sin embargo, la composición de las capas más exteriores de Saturno, formadas casi enteramente por hidrógeno, es mucho menos densa que las rocas y metales que componen la Tierra.

Pero, de la misma forma, mientras en la Tierra se puede sondear algo más de 6 gigámetros para alcanzar el centro y el límite de la profundidad, es posible ahondar 30 gigámetros debajo de la superficie de Saturno y encontrarse aún a mitad de camino del centro de este voluminoso planeta.

Júpiter —más denso e incluso más voluminoso que Saturno— tiene unas presiones internas que aumentan con mayor rapidez. Una presión de unos 370 gigapascales se alcanza tal vez a 20 gigámetros por debajo de la superficie visible de Júpiter, y esto es sólo algo más de una cuarta parte del camino hasta su centro.

ESCALÓN 19
1 000 000 000 000 de pascales (10^{12} Pa)
1 terapascal (10^{0} TPa)
10 000 000 de atmósferas (10^{7} atm)

En el ámbito del terapascal, Urano y Neptuno han quedado ya muy atrás. Sus presiones centrales son tal vez de 0,7 terapascales, ó 7 000 000 de atmósferas (incluso así, dos veces las del centro de la Tierra).

A 48 gigámetros por debajo de la superficie visible de Saturno, la presión tal vez sea de 1 terapascal, ó 10 000 000 de atmósferas. Para entonces, nos encontraríamos en las cuatro quintas partes del centro de Saturno, y en el interior de lo que puede ser un núcleo rocoso.

ESCALÓN 20
3 160 000 000 000 de pascales ($10^{12,5}$ Pa)
3,16 terapascales ($10^{0,5}$ TPa)
31 600 000 atmósferas ($10^{7,5}$ atm)

A unos 60 gigámetros por debajo de la superficie visible de Júpiter nos aproximamos a lo que debe ser el núcleo rocoso del planeta, y alcanzamos una presión de 3,16 terapascales, ó 31 600 000 atmósferas. En el centro mismo de Saturno, la presión debería ser, como mucho, de 5 terapascales, ó 50 000 000 de atmósferas.

ESCALÓN 21
10 000 000 000 000 de pascales (10^{13} Pa)
10 terapascales (10^{1} TPa)
100 000 000 de atmósferas (10^{8} atm)

Al llegar aquí hemos dejado ya atrás Júpiter, puesto que en el núcleo de este planeta la presión tal vez no sea superior a los 8 terapascales, u 80 000 000 de atmósferas, algo más de 20 veces la del centro de la Tierra.

Naturalmente, aún nos queda el Sol. A unos 270 gigámetros por debajo de la superficie visible del Sol, la presión rebasa la mayor de Júpiter, y alcanza los 10 terapascales, o un ámbito de los 100 000 000 de atmósferas.

ESCALÓN 22
31 600 000 000 000 de pascales ($10^{13,5}$ Pa)
31,6 terapascales ($10^{1,5}$ TPa)
316 000 000 de atmósferas ($10^{8,5}$ atm)

A unos 340 gigámetros por debajo de la superficie visible del Sol, exactamente a mitad de camino del centro, la presión alcanza los 31,6 terapascales, ó 316 000 000 de atmósferas (cuatro veces la presión del centro de Júpiter).

ESCALÓN 23

100 000 000 000 000 de pascales (10^{14} Pa)
100 terapascales (10^{2} TPa)
1 000 000 000 de atmósferas (10^{9} atm)

A unos 380 gigámetros por debajo de la superficie visible del Sol, la presión alcanza los 100 terapascales, ó 1 000 000 000 de atmósferas. Esto equivale a 12 veces la presión en el centro de Júpiter y, a esta presión se descomponen hasta los átomos. Por debajo de este nivel, el Sol no está compuesto ya por átomos intactos, sino por fragmentos de átomo que pueden apretarse con mucha mayor fuerza.

ESCALÓN 24

316 000 000 000 000 de pascales ($10^{14,5}$ Pa)
316 terapascales ($10^{2,5}$ TPa)
3 160 000 000 de atmósferas ($10^{9,5}$ atm)

Este ámbito de presión se alcanza a los 450 gigámetros por debajo de la superficie visible del Sol, o los dos tercios de camino hacia su centro.

ESCALÓN 25

1 000 000 000 000 000 de pascales (10^{15} Pa)
1 petapascal (10^{0} PPa)
10 000 000 000 de atmósferas (10^{10} atm)

Esta presión se alcanza a unos 500 gigámetros por debajo de la superficie visible del Sol, a las siete décimas partes del camino hacia su centro.

ESCALÓN 26

3 160 000 000 000 000 de pascales ($10^{15,5}$ Pa)
3,16 petapascales ($10^{0,5}$ PPa)
31 600 000 000 de atmósferas ($10^{10,5}$ atm)

A 540 gigámetros por debajo de la superficie visible del Sol —más de tres cuartas partes del camino hacia su centro—, alcanzamos este ámbito de presión.

ESCALÓN 27

10 000 000 000 000 000 de pascales (10^{16} Pa)
10 petapascales (10^{1} PPa)
100 000 000 000 de atmósferas (10^{11} atm)

La marca de 10 petapascales, ó 100 000 000 000 de atmósferas, se alcanza a unos 600 gigámetros por debajo de la superficie visible del Sol.

ESCALÓN 28

31 600 000 000 000 000 de pascales ($10^{16,5}$ Pa)
31,6 petapascales ($10^{1,5}$ PPa)
316 000 000 000 de atmósferas ($10^{11,5}$ atm)

En el centro del Sol la presión es de unos 32 petapascales, es decir, de 320 000 000 000 de atmósferas. Esto es 4 000 veces la del centro de Júpiter y 80 000 veces la del centro de la Tierra, y aquí vamos a detenernos. Esparcidos ante nosotros tenemos un número infinito de escalones en donde se incrementa la presión en los centros de las estrellas más masivas que el Sol, de las enanas blancas, de las neutrónicas y de los agujeros negros —las presiones se incrementan sin límite en esta última categoría—. A partir de este punto, no conseguiríamos ya nada que no hubiésemos alcanzado al ascender por la escalera de la densidad.

Y, lo que es más, si regresamos al Escalón 1 e intentamos descender por la escalera de la presión, no obtendríamos casi nada que no hubiésemos ya logrado al descender por la densidad.

Así, pues, quedaremos satisfechos de haber ido desde la presión superficial de la atmósfera marciana hasta la presión central del Sol, a través de 27 escalones que han cubierto 13 1/2 órdenes de magnitud.

A continuación abordaremos algo completamente nuevo, que no tiene nada que ver con la longitud ni con la masa.

LA ESCALERA DEL TIEMPO HACIA ARRIBA

ESCALÓN 1
1 segundo (10^0 s)

Hasta ahora hemos manejado dos medidas fundamentales: la longitud y la masa. También hemos tratado con el área, el volumen y la densidad; pero el área es el cuadrado de la longitud; el volumen, el cubo de la longitud, y la densidad, la masa dividida por el volumen. Por tanto, todas esas mediciones están relacionadas con la longitud o la masa o son una combinación de ambas.

Pero, ¿qué pasa con la presión? Es la fuerza ejercida sobre un área, y un área es el cuadrado de una longitud.

Sí... pero, ¿qué es una fuerza? Pues la masa multiplicada por una aceleración, y la masa es una de las cosas fundamentales con las que hemos de tratar.

Sí, pero, ¿qué ocurre con la aceleración? La aceleración es un cambio de velocidad con el tiempo, y la velocidad, un cambio de distancia recorrida (una longitud) con el tiempo.

Al definir la aceleración, el tiempo se menciona dos veces, y ha de recordarse que al principio de la sección anterior las unidades de 1 newton (la unidad básica de fuerza) como un kilogramo-metro por segundo por segundo. Eso de «por segundo por segundo» es, *de nuevo*, una doble mención del tiempo, pues «segundo» es una unidad de tiempo.

Así, al hablar de la presión ya hemos tratado del tiempo, aunque esto no era ciertamente obvio. Por tanto, ahora nos enfrentaremos directamente con el tiempo. Ya es tiempo —valga la redundancia— de que lo hagamos.

Al abordar el tiempo nos encontramos con un nuevo fenómeno: un tipo de medida que ha derrotado al sistema métrico.

Las unidades comunes de longitud creadas en cada nación, en un incierto pasado, han sido remplazadas por el metro, junto con sus múltiplos y divisiones. De forma similar, las unidades de masa, tan honradas por el tiempo, han sido sustituidas por el kilogramo, con sus múltiplos y divisiones.

Sin embargo, y en lo que se refiere al tiempo, las unidades fundamentales fueron ideadas por los sumerios (establecidos en lo que ahora es el Iraq) hace unos 40 siglos. Las unidades sumerias se extendieron fuera del país y llegaron a usarse en toda Europa y hoy se emplean en todo el mundo.

Las unidades sumerias *no* han sido remplazadas por el sistema métrico y nunca se han visto desafiadas por el mismo. La unidad sumeria de «segundo» se acepta como unidad fundamental de tiempo en la versión SI del sistema métrico. Se simboliza por «s».

El segundo es una unidad pequeña de tiempo, y no se usa mucho en la vida ordinaria. (En todo caso, los hombres son muy pobres en la estimación de períodos de tiempo.) En resumen, un segundo es aquello que el hombre considera a menudo como un mero instante.

Un buen método para contar segundos sería decir «un millar y uno», «un millar y dos», «un millar y tres», de una forma enérgica, pero sin apresuramientos. Si no corremos ni enlentecemos el recuento, estaremos muy cerca de contar cada vez lo que es un segundo.

Podemos decir que un segundo es el tiempo necesario para articular cinco sílabas, hablando de forma natural. (Puedo decir «Isaac Asimov» en un segundo si hablo normalmente y no hago ninguna pausa entre el nombre y el apellido.) Esto significa que si contamos como hemos dicho y no pronunciamos más de cinco sílabas, tardaremos siempre un segundo. Es bueno como norma.

Otra forma de contar los segundos sin un instrumento mecánico, consiste en tomarse el pulso. Yo acabo de hacerlo y he contado sesenta y tres latidos en sesenta segundos, lo cual significa que el tiempo de intervalo entre dos latidos es de unos 0,95 segundos, cosa que está muy bien.

Sin embargo, las pulsaciones son erráticas. El intervalo entre dos latidos puede ser más corto si una persona es activa, emotiva o, simplemente, está nerviosa. Mi propia experiencia me dice que concentrarse meramente en las propias pulsaciones causa la tensión suficiente —sin importar lo calmado que trate uno de mantenerse— como para acelerar un poco la pulsación.

Asimismo, la pulsación es más rápida cuanto más pequeña es la persona, y el latido por segundo tiene más probabilidades de ser correcto en una mujer de tamaño normal que en un hombre. La hembra adulta, al ser en promedio más pequeña que el macho adulto, tiene un latido más rápido, y es probable que el tiempo de intervalo entre dos pulsaciones no llegue a 0,75 segundos. En los niños es mucho más rápido aún el pulso, y, al nacer, el intervalo entre pulsaciones es sólo de 0,45 segundos.

Cualquier persona o, más generalmente, todo ser vivo, es demasiado errático en este sentido, como para ser de confianza en la medición de un intervalo de tiempo. Por tanto, debemos encontrar algo que sea mejor que la voz o los latidos.

Tenemos, por ejemplo, el latido de un péndulo. Un péndulo de una longitud dada oscila de un lado a otro en un tiempo fijo, sin tener en cuenta lo largo o lo corto que sea el arco en el que oscile. Al fin, el tiempo ha quedado casi fijado. Varía levemente con la fuerza de la atracción gravitatoria de la Tierra sobre el mismo y, por tanto, con la altitud sobre el nivel del mar. También varía con la temperatura. Oscila asimismo levemente con la amplitud del vaivén, si el péndulo marca el arco de un círculo, como lo hace de forma natural, o bien describe el arco de una curva llamada cicloide, como es posible obligarle a hacer.

Sin embargo, el péndulo empezó a usarse en el siglo XVII. Antes debía emplearse algo continuamente cambiante y que se moviera aparentemente a un índice constante, como el goteo del agua, o el deslizamiento de la arena a través de un diminuto orificio; o el tiempo que tarda en consumirse una vela, o el desplazamiento de la sombra a lo largo del suelo a medida que avanza el día.

Aunque ninguno de estos métodos es muy exacto, se han usado a lo largo de la Historia, a falta de algo mejor. En realidad, aún pueden verse en algunos jardines ornamentados relojes de sol, que funcionan tan bien como siempre; y todavía se emplean algunos mecanismos en los que la arena se vierte desde una recámara superior a otra inferior en un tiempo fijado, lo cual permite, por ejemplo, cocer correctamente un huevo.

Lo mejor sería usar algún ciclo astronómico, ya que tienden a ser regulares. La Tierra gira en torno a su eje en un tiempo determinado; la Luna gira también sobre la Tierra en

un tiempo fijo; la Tierra da vueltas alrededor del Sol, etcétera. Cada uno de esos ciclos define un período de tiempo, aunque son mucho más largos que el segundo. De todos modos, el segundo puede definirse como una determinada fracción de uno de esos períodos astronómicos mucho más largos, y oportunamente me referiré a todas esas definiciones.

En realidad, existe un ciclo astronómico mucho más corto y, potencialmente, mucho más adecuado que cualquiera de los anteriores que implican a la Tierra, a la Luna y al Sol. Se trata del período de rotación de una estrella neutrónica.

La primera estrella neutrónica descubierta da una vuelta completa en 1,337 301 09 segundos. Esos giros quedan marcados por los latidos de las ondas de radio, que llegan con extraordinaria regularidad, por lo cual tales objetos se llaman «pulsars» (abreviatura de las voces inglesas *pulsating stars*, o estrellas pulsátiles), antes de que se descubriera que se trataba de estrellas neutrónicas.

Un segundo puede definirse como el tiempo que tarda un pulsar dado en realizar 0,747 774 71 de vuelta. Al fin pudo realizarse esto después de 1969, año en que se descubrió la primera estrella neutrónica.

No obstante, todos los períodos astronómicos muestran ciertas irregularidades (hasta las estrellas neutrónicas, cuyos ciclos se enlentecen cada vez más con el paso del tiempo). Por tanto, los científicos han dirigido su atención hacia los ciclos mucho más rápidos que implican átomos, respecto a los cuales sabemos que no cambian en absoluto con el paso del tiempo.

En algunas de sus actividades, los átomos emiten radiaciones de cierta frecuencia (de numerosas ondas u oscilaciones por segundo). Cada clase de átomo producirá una radiación característica sólo de él, y de ninguna otra clase de átomo, frecuencia que puede determinarse con un elevado grado de precisión. Es, pues, necesario convenir en un particular tipo de átomo para producir radiación en unas condiciones dadas, y definir el segundo como uno de los numerosos ciclos de dicha radiación.

En 1964 se definió el segundo como 9 191 631 770 ciclos de la radiación producida en ciertas condiciones especificadas por un átomo de cesio, de la variedad isotópica llamada cesio-133. En 1967 se adoptó como definición del segundo en la versión SI del sistema métrico. Esto puede ser engorroso, pero nos da un más preciso e invariable tipo para la longitud exacta de la duración del segundo, que cualquier otro sistema que los científicos hayan calculado.

¡Ah, algo más! En un segundo, un rayo de luz, viajando a través del vacío, recorrerá 299,792 456 2 megámetros. Esta distancia es igual a la circunnavegación de la Tierra por el ecuador 7 1/2 veces, o a recorrer algo más de las tres cuartas partes del camino hacia la Luna. ¡En un segundo!

ESCALÓN 2
3,16 segundos ($10^{0,5}$ s)

Los pulsars tienen diferentes períodos de rotación. Un pulsar, mientras gira, pierde gradualmente energía al enviar corrientes de cargas de partículas y de rotación, y de este modo pierde también inercia angular. Como resultado de dichas pérdidas, el período de rotación se acorta lentamente, y se debilita la intensidad de la radiación. Con el tiempo, pues, los pulsars se hacen cada vez más difíciles de detectar.

El pulsar de período más largo conocido hasta ahora rota en 3,755 segundos, sólo algo por encima del nivel de tiempo del Escalón 2.

Ese lento incremento en el período —por el valor de una milmillonésima de segundo, o así, cada día— permite que los pulsars tengan una utilidad limitada como tipo para la definición de un segundo.

En 3,16 segundos, un rayo de luz puede recorrer 947 megámetros, o viajar desde la Tierra a la Luna y a la inversa, y luego, recorrer de nuevo la mitad del camino hacia la Luna. O bien salvar la distancia entre Júpiter y su mayor satélite, Ganimedes.

Vayamos ahora a los ejemplos diarios. En música, el acostumbrado «cuarto de nota» se mantiene durante un segundo. Por tanto, una «nota entera», dura cuatro segundos. Al cantar himnos, el «amén» final suele durar dos notas completas. Así, al cantar «amén» cada una de las dos sílabas se mantiene cuatro segundos.

ESCALÓN 3
10 segundos (10^1 s)

Diez segundos *no* son un «decasegundo». Los prefijos usuales del sistema métrico no suelen emplearse en las unidades de tiempo de más de un segundo. Como veremos, hay otras formas de hacer frente a esto.

En 10 segundos, un corredor profesional de velocidad puede hacer cien metros, arrancando de la posición de arrodillado. En realidad, el récord mundial de la prueba de los cien metros, es de 9,95 segundos, y se estableció en 1968.

Por otra parte, en diez segundos un rayo de luz puede recorrer casi las tres cuartas partes del camino en torno al ecuador del Sol.

ESCALÓN 4
31,6 segundos ($10^{1,5}$ s)

La duración de 31,6 segundos es algo más de la mitad de un «minuto» (que se simboliza por «min»), puesto que 60 segundos equivalen a 1 minuto. Y esto es así gracias a una convención establecida por los sumerios.

¿Y por qué 60? Los sumerios no habían desarrollado todavía unas buenas técnicas matemáticas para manejar las fracciones, y necesitaban a toda costa contar con unos números que pudiesen dividirse uniformemente por cierto número de formas, para reducir al mínimo la necesidad de emplear fracciones. El número 10, natural cuando se forman elevadas unidades —puesto que es el número de dedos de las dos manos—, sólo puede dividirse por 2 y por 5. Por otra parte, el número 60 puede dividirse por 2, 3, 4, 5 y 6. Es el número más pequeño que puede dividirse exactamente por cualquier dígito inferior a 7. (También da un resto exacto al dividirse por 10, 12, 15, 20 y 30).

Naturalmente, hoy las fracciones no suponen terrores para los dedicados a operaciones aritméticas (bueno, por lo menos, para *algunos* de los dedicados a ello), y se han hecho sugerencias respecto a que las unidades de tiempo deberían decimalizarse; por ejemplo, que los minutos se dividiesen en 100 «segundos métricos». Sin embargo, es improbable que se introduzca dicho cambio.

Como ejemplo de intervalo de tiempo del Escalón 4 en la vida diaria, la mayor parte de los «anuncios» que interrumpen, en Estados Unidos, los regularmente calculados programas de televisión en hora punta, tienen 30 segundos de duración (en España, 20 segundos). Esto deja muy claro que 30 segundos constituyen un intervalo de tiempo más largo de lo que la mayoría de nosotros asumiríamos gustosamente.

ESCALÓN 5
100 segundos (10^2 s)
1,67 minutos ($10^{0,22}$ min)

En 100 segundos, un ser culto medio puede leer unas 500 palabras, mientras que su corazón latirá unas 120 veces, sea culto o no. En comparación, el corazón de una musaraña —el mamífero más pequeño— latirá, en este intervalo en condiciones normales, unas 1 650 veces.

ESCALÓN 6
316 segundos ($10^{2,5}$ s)
5,27 minutos ($10^{0,72}$ min)

Éste es el tiempo que tarda el hombre en morir por asfixia. En las películas de crímenes y terror vemos cómo una persona emplea a veces las dos manos para asfixiar a una víctima hasta causarle la muerte. Esto no es nada realista. En primer lugar, no es tan fácil asfixiar a una persona de este modo, puesto que la tráquea está endurecida con cartílagos y, por tanto, se necesita una fuerte sujeción para apretarla de modo suficiente. En segundo lugar, la presión debería mantenerse durante cinco minutos, más o menos, para estar seguro de causar la muerte, y ninguna película podría concentrarse en tal acción un período tan largo de tiempo. Por lo general, se presenta como si la muerte sobreviniese en un minuto o menos. (Incidentalmente, la razón de morirse no es que el corazón, los músculos o los riñones se vean privados de oxígeno. El punto más débil es el cerebro, un ávido devorador de oxígeno. Al cabo de cinco minutos, aproximadamente, el cerebro, privado de oxígeno, deja de funcionar de modo permanente, y sin el cerebro, el resto del cuerpo carece de utilidad.)

El intervalo de tiempo del Escalón 6 permite el desarrollo de un razonablemente largo eclipse total de Sol. En promedio, la Luna es aparentemente algo más pequeña que el Sol, por lo cual, las más de las veces, la Luna no cubre por entero al Sol. Sin embargo, cuando la Luna se encuentra en la parte de su órbita más cercana a la Tierra, y por tanto, parece más grande que de costumbre, mientras que la Tierra se halla en la parte de su órbita más alejada del Sol —por lo cual éste se ve más pequeño que lo habitual—, la Luna puede cubrir por completo al Sol y aún sobrarle algo. Cuando los respectivos tamaños se hallan en su extremo, el Sol tarda hasta 7,5 minutos —tras haberse deslizado por detrás de la Luna—, en avanzar lo suficiente como para empezar a salir por el otro lado.

ESCALÓN 7
1 000 segundos (10^3 s)
16,7 minutos ($10^{1,22}$ min)

La población de la Tierra ha ido aumentando incesantemente desde que el *Homo sapiens* apareció en este planeta. Y, lo que es más, el índice al que aumenta la población ha tendido a incrementarse a través de la Historia. Actualmente, la población de la Tierra aumenta en 2 300 personas cada 16,7 minutos.

ESCALÓN 8
3 160 segundos ($10^{3,5}$ s)
52,7 minutos ($10^{1,72}$ min)

El intervalo de tiempo del Escalón 8 es casi una hora, dado que 1 hora (simbolizada por «hr») es igual a 60 minutos (o a 60 x 60 = 3 600 segundos). Al igual que el minuto, la hora puede emplearse en la versión SI del sistema métrico.

Antiguamente, la hora era la unidad más pequeña de tiempo empleada en la vida ordinaria, y la voz procede de la palabra latina que significa «tiempo». Sólo cuando, en la Edad Media, se desarrolló el reloj mecánico, y, en particular, el reloj de péndulo, hacia 1650, fue posible dividir la hora con razonable precisión y hacer un uso práctico de la división sexagesimal que los sumerios habían elaborado en teoría.

Como ya he dicho, la hora se dividió en 60 partes iguales, y cada una de estas partes se describió como *pars minuta prima* (voces latinas que significan de «primera pequeña parte», y que fueron abreviándose hasta llegar a «minuto»).

Cuando el minuto se dividió en 60 partes iguales, cada una de ellas fue denominada *pars minuta secunda*, o «segunda pequeña parte», que se abrevió en «segundo».

Los sumerios dividieron la circunferencia de un círculo en 360 unidades iguales (de donde 360 es 60 x 60), cada una de las cuales llamamos ahora «grado». El grado, al igual que la hora, se divide en 60 unidades más pequeñas, y cada una de éstas, a su vez, en 60 unidades aún menores, llamadas minutos y segundos. Para distinguir las divisiones de un círculo de las de una hora, nuestros antepasados se referían a ellas —cuando era posible la confusión— como «minutos de arco» y «segundos de arco».

Consideremos ahora el intervalo de tiempo del Escalón 8 relacionado con el neutrón, el cual es una de las dos partículas que constituyen el núcleo de un átomo; el otro es el protón. Juntas forman virtualmente, toda la masa del Universo, por lo que sabemos hoy (dado que el neutrino no ha demostrado poseer una pequeña cantidad de masa).

El protón es estable, o sea, no es interferido por ninguna otra partícula, sigue siendo siempre un protón (o, por lo menos, durante un período de tiempo extremadamente largo). El neutrón es estable mientras se halla presente en el núcleo, pero aislado se descompone en un protón más otras dos partículas (el electrón y el antineutrino), que tiene muy poca masa comparado con el neutrón y el protón.

Resulta imposible decir cuándo puede romperse determinado neutrón. Puede producirse en un segundo, o tardar millones de años. No obstante, si hay gran número de neutrones, es posible predecir, con bastante precisión, cuánto tiempo transcurrirá antes de que se haya descompuesto la mitad. No sabemos exactamente qué neutrones quedarán incluidos en esa mitad, pero la mitad se habrá descompuesto entonces. El período de tiempo durante el cual se produce todo esto es la «vida media», y la vida media del neutrón es, exactamente, de unos 13 minutos.

Una vez se ha roto la mitad de los neutrones, la mitad de la mitad restante se descompondrá en los siguientes 13 minutos, y la mitad de la mitad seguirá aún rompiéndose durante los siguientes 13 minutos, y así indefinidamente.

Dado que 52,7 minutos son exactamente unas cuatro veces más largos que 13 minutos, ello significa que sólo la mitad de la mitad de la mitad de la mitad —es decir, un sexto del número original de neutrones— permanecerá como neutrones tras un intervalo de tiempo del Escalón 8. En 52,7 minutos, o sea, en el 94 por 100 de un tiempo dado, se habrá descompuesto ya gran número de neutrones.

ESCALÓN 9

10 000 segundos (10^4 s)
2,78 hora ($10^{0,44}$ hr)

En el nivel de tiempo del Escalón 9 empezaremos con las cosas astronómicas. Indudablemente, hay algunos pequeños asteroides que giran en torno a sus ejes en este tiempo o menos. Similarmente, los objetos pequeños en la inmediata vecindad de un planeta rotarían alrededor de sí mismos en este tiempo, o menos.

Así, Yuri Gagarin, el 12 de abril de 1961, giró en torno a la Tierra en una nave espacial (que se movía, naturalmente bajo la influencia de la gravedad, de la misma forma que lo haría un satélite natural). Permaneció a una altura media de unos 250 kilómetros sobre la superficie de la Tierra, y su tiempo de revolución fue de 1,8 horas.

ESCALÓN 10

31 600 segundos ($10^{4,5}$ s)
8,78 horas ($10^{0,94}$ hr)

Esto nos lleva a los llamados objetos astronómicos. Fobos, el satélite interior de Marte, gira en torno a su planeta en 7,65 horas. Amaltea, más cerca de Júpiter que los grandes galileanos, rota en torno de su planeta en 11,74 horas. Esos dos satélites, en sus períodos de revolución, se amoldan al nivel de tiempo del Escalón 10.

Júpiter, el mayor planeta, tiene, en realidad, el período más breve de rotación sideral (es decir, de rotación respecto a las estrellas). Rota (en el ecuador) en sólo 9,841 horas. Saturno, el segundo de los planetas en tamaño, gira en 10,233 horas.

Así alcanzamos el tiempo vital de los organismos lo suficientemente grandes para ser vistos a simple vista. Los insectos llamados efímeras viven en su estadio adulto sólo lo suficiente para acoplarse y poner huevos. No comen. En realidad, su aparato bucal es sólo un vestigio, por lo cual no pueden comer. Algunas especies viven sólo el tiempo que tardan Fobos o Amaltea en dar una vuelta en torno a sus planetas, o en el que tarda Júpiter o Saturno en girar una vez sobre sus ejes.

Las efímeras pertenecen al orden «Ephemerida» (de la voz griega que significa «en un día»). Sin embargo, el estadio adulto de una efímera es el resultado de un estadio larvario que dura considerablemente mucho más. O sea, que lo efímero no es la vida *total* de la efímera, valga la redundancia...

ESCALÓN 11

100 000 segundos (10^5 s)
1,16 días ($10^{0,06}$ d)

Cien mil segundos es igual a 27 7/9 horas, pero aquí debemos movernos una vez más hacia una unidad mayor de tiempo.

En veinticuatro horas, la Tierra gira una vez sobre su eje. Esto determina un período de día y de noche, probablemente el primer intervalo de tiempo que se hizo patente a la Humanidad primitiva.

Cada una de las dos partes, el día y la noche, se dividía en 12 horas. Esto resultó conveniente, puesto que 12 puede dividirse exactamente por 2, 3, 4 y 6. Originariamente, y dado que el día y la noche se alternaban, en sus extensiones, con las

estaciones, las horas hacían lo mismo. Por ello, en verano las doce horas de luz solar eran más largas que las doce de oscuridad, mientras que en invierno ocurre lo contrario. Luego mejoraron los relojes, y entonces se comprobó que el cambio de duración del día y la noche podían anularse mutuamente, y teniendo en cuenta que la duración de un día y una noche era igual durante todas las épocas del año, se fijaron las duraciones de las horas, sin tener en cuenta si el Sol estaba o no en el firmamento. De ello se sigue que, en primavera y verano, la luz dura más de 12 horas, y la noche se acorta (excepto en el ecuador), mientras que en otoño e invierno ocurre lo contrario.

Las 24 horas que componen el día y la noche se llaman, en la actualidad, «día», por lo cual el período se refiere tanto a las 24 horas como al tiempo durante el cual el Sol se halla por encima del horizonte.

Hoy, el período de 24 horas es el «día solar», o sea, el tiempo que tarda el Sol en ir de una determinada posición en el espacio hasta la misma posición: por ejemplo, de mediodía a mediodía. (El tiempo de mediodía a mediodía, varía levemente con el transcurso del año, porque la órbita de la Tierra en torno al Sol no es del todo circular y porque el eje de la Tierra no es perpendicular al plano de revolución. Sin embargo, 24 horas es el tiempo promedio de mediodía a mediodía, y las desviaciones de esa cifra no son muy grandes. El «auténtico día solar» es, exactamente, de 24 horas, u 80 400 segundos.)

El «día sideral» —o el tiempo que tarda una determinada estrella en girar aparentemente en torno a la Tierra y regresar a su lugar de origen— es algo más corta que el día solar (porque el Sol parece derivar hacia delante contra el telón de fondo de las estrellas, gracias al movimiento de la Tierra en torno al mismo). El día sideral tiene 23,934 horas de duración, ó 0,997 días solares de extensión. La diferencia es de unos 3,93 minutos.

El día sideral puede emplearse en la versión SI del sistema métrico, y se simboliza por «d». El intervalo de tiempo del Escalón 11 de 100 000 segundos es igual a 1,16 días.

El período de rotación de Marte es algo más largo que el de la Tierra. El día sideral de Marte dura 1,026 días.

En cuanto a los satélites del Sistema Solar, los tres interiores más importantes de Saturno —Mimas, Encélado y Tetis— giran en torno al planeta en períodos de 0,942, 1,370 y 1,888 días, respectivamente. Miranda, el satélite más interior de Urano, gira en torno al mismo en 1,414 días, Ío, el más interior de los satélites galileanos, rota en torno de Júpiter en 1,769 días. Deimos, el más alejado de los dos satélites marcianos, da la vuelta en torno a Marte en 1,262 días.

ESCALÓN 12
316 000 segundos ($10^{5,5}$ s)
3,66 días ($10^{0,56}$ d)

Al llegar aquí nos acercamos a las unidades de tiempo superiores a un día. El más breve de tales es la «semana», que se define como de 7 días, y que no se emplea en la versión SI del sistema métrico. (De hecho, nada, estrictamente hablando, se usa en la versión SI, excepto los segundos, minutos, horas y días.)

La semana representa el intervalo más breve de tiempo inspirado por la Luna, que es el segundo, sólo después del Sol, objeto prominente en el firmamento. La Luna atraviesa un interminable y repetitivo cambio de apariencia, o «fase», de noche a noche. De tales cambios, cuatro son bien evidentes: «nueva», cuando la Luna se encuentra tan

cerca del Sol en el firmamento, que virtualmente ningún lado visible recibe la luz del Sol, por lo cual no se la ve en absoluto o, como máximo se percibe sólo un evanescente pequeño creciente; «cuarto creciente» cuando la porción iluminada se ha expansionado hasta hacerse visible como un semicírculo de luz; «llena», cuando la porción iluminada se ha esparcido por todo el lado visible de la Luna, por lo cual vemos un perfecto (o casi perfecto) círculo de luz; y «cuarto menguante», cuando la porción iluminada se ha reducido otra vez hasta convertirse en un semicírculo. La porción iluminada sigue reduciéndose hasta reaparecer la Luna nueva, con lo cual vuelve a iniciarse el ciclo.

El tiempo promedio que transcurre entre una de esas fases y la siguiente es de 7,38 días, por lo cual, si la Luna se halla en cuarto creciente el domingo, será Luna llena al domingo siguiente. La «semana» marca así las fases importantes de la Luna, y la palabra puede rastrearse a veces hasta llegar a una antigua voz teutónica que significa «cambio (de fase)». La palabra alemana que significa «cambio» es *Wechsel,* y parecida a otra voz alemana, *Woche,* es decir, «semana».

El cambio de fase no se produce exactamente cada siete días, y, así, el tiempo que transcurre entre la Luna llena y la nueva, o entre el cuarto creciente y el menguante, es de 14,76 días (o casi 15 días). De esta forma, si tenemos Luna nueva el domingo, habrá Luna llena no el segundo domingo posterior, sino al lunes siguiente. Para mantener la semana dentro del tiempo de las fases de la Luna habría que seguir la pauta de las semanas, en las que unas serían de siete y otras de ocho días.

Así, se podrían reunir las semanas en grupos de ocho, y dentro de cada grupo, las semanas tendrían 7 días, 8 días, 7 días, 7 días, 8 días, 7 días, 8 días, 7 días, para empezar de nuevo la pauta con el siguiente grupo de ocho. En este caso, el principio de cada semana correspondería a una de las cuatro fases importantes. (Aunque no del todo exactamente, ya que deberían introducirse pequeños cambios de vez en cuando.)

Esto nunca se hizo, tal vez porque no resultaba conveniente, o porque los antiguos astrónomos súmenos observaron que había siete cuerpos celestes fácilmente visibles que se movían contra el telón de fondo de las estrellas: los conocidos para nosotros como el Sol, la Luna, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Esto, aparentemente daba al número siete un significado mágico, por lo cual la semana se mantuvo con este número, aunque ello significase que las fases de la Luna no se adecuarían al mismo.

En cualquier caso, el nivel del Escalón 12 de 3,66 días está muy cerca de la mitad de tiempo que dura una semana (0,523 semanas).

Europa, el menor de los satélites galileanos, gira en torno a Júpiter en 3,551 días. Dione y Rea, los dos satélites de Saturno, tienen períodos de revolución de 2,737 y 4,518 días, respectivamente. Ariel y Umbriel, los dos satélites de Urano, giran en torno a éste en 2,520 y 4,144 días, respectivamente. Tritón, el mayor de los dos satélites de Neptuno, tarda 5,887 días en describir una órbita en torno al planeta.

Plutón, el más alejado de los planetas conocidos, tarda 6,39 días en girar en torno a su eje.

ESCALÓN 13
1 000 000 de segundos (10^6 s)
11,57días ($10^{1,06}$ d)

Al llegar al intervalo de tiempo del Escalón 13 tratamos ya con un período que tiene, *grosso modo,* 1 2/3 semanas de duración. En inglés, un período de dos semanas suele llamarse *fortnight,* especialmente en Gran Bretaña, que no es más que una abreviación

de *fourteen nights*, es decir, catorce noches. El intervalo de tiempo del Escalón 13 se halla algo por encima de los cinco sextos de este período de catorce días (o quincena).

Estamos en el ámbito del tiempo correspondiente a la vida total de los organismos lo suficientemente grandes como para verlos a simple vista. La mosca doméstica macho vive unos 17 días desde que sale del huevo hasta su fin, aunque tenga lo suficiente para comer y escape a la muerte por accidente.

Oberón, el más exterior de los satélites conocidos de Urano, gira en torno a su planeta en 13,463 días; Titán, el mayor de los satélites de Saturno, describe una órbita en torno a Saturno en 15,945 días, y Calisto, el más alejado de los galileanos, tarda 16,689 días en dar una vuelta alrededor de Júpiter.

ESCALÓN 14
3 160 000 segundos ($10^{6,5}$ s)
36,57 días ($10^{1,56}$ d)

El período que media entre una Luna nueva y otra —es decir, el tiempo que tarda en desarrollarse un ciclo completo de las fases de la Luna— es de 29,53 días. Equivale al período sinódico de revolución de la Luna en torno a la Tierra, y por ello se llama «mes sinódico».

Los babilonios desarrollaron un «calendario lunar», en el que el primer día del mes empezaba siempre en el momento de la Luna nueva. Esto fue adoptado por otros muchos pueblos, incluyendo a los judíos y a los griegos. A fin de mantener el primer día del mes dentro de la Luna nueva, algunos meses deberían durar 29 días, y otros, 30, según un sistema fijado y más bien complicado.

En los tiempos modernos, se ha abandonado la conexión del mes con la Luna, y así, tenemos unos meses de extensión irregular, uno de sólo 28 días, y otros de 31. Sin embargo, la duración media de esos « meses de calendario» es de 30,437 días. Por tanto, un mes de calendario es igual a 1,03 meses sinódicos.

En cuanto al ámbito de tiempo del Escalón 14, es de 36,57 días, lo cual equivale a 1,2 meses de calendario.

El mes sinódico es la revolución de la Luna en torno a la Tierra, en relación con el Sol. El «mes sideral» es la revolución de la Luna en torno a la Tierra respecto a las estrellas. El mes sideral es más de dos días más breve que el mes sinódico, por razones astronómicas que no necesitan preocuparnos. La revolución sideral de la Luna dura 27,322 días, o, casi exactamente, 0,9 meses de calendario.

La administración presidencial más breve en la historia de Estados Unidos fue la de William Henry Harrison que, en 1841, fue el noveno presidente durante 31 días, antes de desaparecer de muerte natural.

ESCALÓN 15
10 000 000 de segundos (10^{7} s)
115,7 días ($10^{2,06}$ d)

La duración de tiempo del Escalón 15 es de unos 4 meses.

El planeta más interior, Mercurio, gira en torno al Sol en 88 días (compárese esto con Japeto, satélite de Saturno, que gira en torno a su planeta en 79,331 días).

La vida de un glóbulo rojo de la sangre humana dura, en promedio, unos 125 días.

James Abram Garfield fue el vigésimo presidente de Estados Unidos, en 1881, durante 199 días (6,5 meses). Murió a causa de las heridas sufridas en un atentado.

ESCALÓN 16

31 600 000 segundos ($10^{7,5}$ s)
365,7 días ($10^{2,56}$ d)
1 año (10^{0} y)

Este intervalo de tiempo se halla notablemente cerca del período de revolución de la Tierra en torno del Sol, el cual es de 366,3422 días. Se trata del «año trópico», y el intervalo de tiempo del Escalón 16 es igual a 1,001 años trópicos.

El año trópico no es una unidad permitida en la versión SI del sistema métrico, pero se usa de forma tan corriente en todo el mundo y sería tan conveniente para mis propósitos, que aquí voy a rebelarme y lo usaré, atribuyéndole el símbolo «y».

El año trópico, que es actualmente el período de tiempo entre los sucesivos equinoccios vernales, se halla muy cerca de los 365 1/4 días de extensión, por lo cual, tres años sucesivos tienen 365 días de duración cada uno, mientras que el cuarto, el «año bisiesto», dura 366 días. Dado que el año trópico no llega a los 365 1/4 días de duración, no lo son tres años cada cuatrocientos que deberían ser bisiestos. Este arreglo, llamado del «calendario gregoriano» —en honor al Papa Gregorio XIII, que lo introdujo en Europa en 1582— funciona muy bien y es aceptado hoy virtualmente por casi todas las naciones (por lo menos en los acuerdos internacionales).

El período de revolución de la Tierra en torno al Sol, con respecto a las estrellas, es el «año sinódico», el cual dura 365,256 días, o sea, 20 minutos más que el año trópico.

La duración del año se refleja en el ciclo de las estaciones. Los primeros calendarios se basaban en el mes lunar, y se hizo aparente que las estaciones se repetían cada doce meses lunares.

Pero no de forma exacta. Doce meses lunares son 354 días. Éste es el «año lunar», y equivale a 0,97 años trópicos. Para expresarlo de otra forma; el año trópico es igual a 12,37 meses lunares.

Para mantener los meses lunares en relación con el año trópico, los años lunares fueron divididos por los babilonios en grupos de 19, 12 de los cuales estaban compuestos por 12 meses lunares, y 7 por 13 meses también lunares, con una pauta fija. Este sistema fue adoptado por los judíos y los griegos.

Los egipcios emplearon otro sistema, en el que el año trópico se dividió en 12 meses, cada uno de los cuales duraba 30 días, con 5 días extras añadidos para mantener el año igualado con las estaciones (aunque no hicieron previsiones para el año bisiesto). En tiempos de Julio César lo adoptaron los romanos, con algunas modificaciones y, con la ulterior modificación del Papa Gregorio, el calendario egipcio es el que se emplea hoy en casi todo el mundo.

Algunos satélites desarrollan períodos de revolución, *grosso modo*, comparables al de la Tierra. El satélite exterior de Neptuno, Nereida, gira en torno a su planeta en 0,985 años (359,88 días), mientras que el satélite más exterior de Saturno, Febe, tarda 1,51 años (550,4 días). Marte emplea en 1,88 años (687 días) en describir su órbita en torno al Sol.

Nos encontramos en el ámbito de tiempo de la existencia de los mamíferos más pequeños. La musaraña enana, aunque adecuadamente alimentada y alejada de los peligros, no vivirá más allá de un año.

Zachary Taylor fue el duodécimo presidente de Estados Unidos, entre 1849 y 1850, gobernó 1,35 años (492 días) y murió de muerte natural.

ESCALÓN 17
100 000 000 de segundos (10^8 s)
3,16 años ($10^{0,5}$ y)

Los miembros de la Cámara de Representantes norteamericana son elegidos para 2 años.

Al llegar al Escalón 17 hemos rebasado ya los períodos de revolución de todos los satélites conocidos. El más largo es el de Sinope, el satélite más exterior de Júpiter, que gira en torno al planeta en 2,08 años (758 días), o casi el término del mandato de un miembro de la Cámara de Representantes.

Encke, el cometa que describe la menor órbita conocida en torno al Sol, tiene un período de revolución de 3,3 años. Ceres, el mayor de los asteroides, circunvala el Sol en 4,6 años.

John Fitzgerald Kennedy, trigésimo tercer presidente de Estados Unidos, permaneció en el cargo durante 2,84 años (1 037 días), momento en que su vida fue segada por la bala de un asesino. La duración normal de un mandato presidencial, como fija la Constitución, es de 4 años. El primer presidente cuya administración duró ese tiempo fue John Adams, segundo presidente; el más reciente (en el momento de escribir estas líneas) fue James Earl (Jimmy) Cárter, trigésimo noveno presidente.

La rata negra tiene una duración vital máxima de más de 3 años. Se han dado varios nombres a los períodos de tiempo superiores a un año. Por ejemplo, hubo una época en que los romanos hacían una especie de censo cada cinco años, y llamaron a tal período *lustrum* (de una voz latina que significaba «lavar», pues la gente se entregaba a una purificación ritual después del censo). Por esta razón, un período de 5 años se llama lustro o quinquenio, aunque, por lo general, sólo se usa en estilo poético o floreado. En la historia de los romanos hubo también épocas en que se revisaban las valoraciones de los impuestos, y sus resultados se anunciaban cada quince años. Se llamó a esto «indicción», de una voz latina que significaba «anunciar», término que se emplea (aunque muy raramente) para un período de 15 años.

La única expresión común para un período de este ámbito de tiempo es «década», de la voz latina que significa «diez». Esto representa, en la duración del tiempo del Escalón 18, una extensión de 10 años.

ESCALÓN 18
316 000 000 segundos ($10^{8,5}$ s)
10 años (10^1 y)

Los senadores norteamericanos son elegidos para un mandato de 6 años, o las tres quintas partes de una década.

Los presidentes norteamericanos pueden ser reelegidos, y entonces si no se produce ninguna desgracia, podrían permanecer en el cargo durante 8 años, o las cuatro quintas partes de una década. El primero en gobernar durante 8 años consecutivos fue George Washington, primer presidente, y el más reciente, hasta ahora, Dwight David (Ike) Eisenhower, trigésimo cuarto presidente. Grover Cleveland permaneció 8 años, aunque

no consecutivos. La administración de 4 años de Benjamin Harrison queda dentro del período intermedio, por lo cual Cleveland fue el vigésimo segundo y el vigésimo cuarto presidente.

Antes de 1951, cuando se adoptó la Vigésimo segunda Enmienda a la Constitución, los años que un presidente norteamericano permanecía en el poder no se quedaban legalmente limitados a 8 (aunque la costumbre lo imponía como límite). Franklin Delano Roosevelt, el trigésimo segundo presidente, desafió la costumbre y fue elegido para un tercero y un cuarto mandatos. Su cuarto mandato fue interrumpido por la muerte, y su administración duró 12,115 años, el período más largo de la Historia de Norteamérica. Por una extraña fatalidad, Adolfo Hitler gobernó en Alemania durante un período de tiempo que casi se adecúa exactamente con el período en que F. D. Roosevelt presidió los Estados Unidos. Hitler llegó al poder 33 días antes de que Roosevelt inaugurase su mandato, y se suicidó 18 días después de la muerte de Roosevelt, por lo que su gobierno duró 12,255 años.

El período de revolución de Júpiter en torno al Sol es algo más breve que la administración de F. D. Roosevelt, y dura 11,86 años.

El período máximo de vida de un tití es de unos 10 años.

ESCALÓN 19
1 000 000 000 de segundos (10^9 s)
31,6 años ($10^{1,5}$ y)

La más importante unidad inespecífica de tiempo es la de «generación», término usado con frecuencia para representar el tiempo que tardan las personas en ser remplazadas por sus hijos. Se emplea con mayor frecuencia para un período de 33 años, lo cual le coloca muy cerca de la duración del tiempo del Escalón 19.

Los magistrados del Tribunal Supremo norteamericano son nombrados vitaliciamente (o hasta que dimitan voluntariamente, sean procesados o condenados). Mientras escribo esto, el magistrado que ha permanecido más tiempo en su cargo ha sido William Orville Douglas, que lo ejerció durante 36,54 años, de 1939 a 1975.

Los Papas son elegidos también vitaliciamente (o hasta que resignen su cargo o sean depuestos), y el pontificado más largo fue el de Pío IX, que reinó desde 1846 a 1878, o sea, 31,65 años, algo más de mil millones de segundos.

Los dirigentes que asaltan el poder y gobiernan de una forma no democrática pueden permanecer a veces en el mismo durante largos períodos. Benito Mussolini rigió Italia durante 21 años; Francisco Franco gobernó España durante 36 años y Antonio Oliveira Salazar lo hizo en Portugal durante 42 años.

Los monarcas que reinan por derecho hereditario pueden estar aún más tiempo puesto que, en ocasiones, acceden al trono a muy temprana edad.

El dirigente, aún con vida, que lleva más tiempo en el trono es Hirohito, emperador del Japón. Accedió al trono en 1926, a los veinticinco años de edad, su reinado dura por ahora 57 años y tiene, a la hora de escribir estas líneas, ochenta y dos años.

Dos monarcas ingleses reinaron aún más tiempo: Jorge III, 60 años, desde 1760 a 1820; accedió al trono a la edad de veintidós años; y Victoria, 64 años, desde 1837 a 1901; fue coronada a los dieciocho años de edad. Reinó algo más de dos mil millones de segundos.

En general, los mamíferos viven tanto más cuanto más grandes son. Un camello puede vivir 27 años; una jirafa, 28; un león, 29; un rinoceronte asiático, 32; una cebra, 40; un babuino mandril, 46; un oso pardo europeo, 47 y un hipopótamo 54.

Entre las aves, varias águilas pueden llegar a vivir entre 40 y 50 años, y se ha sabido que un cóndor de los Andes vivió 65. La edad mayor registrada para una serpiente es la de una pitón, que vivió 34 años. Los caimanes y los lagartos alcanzan a veces más de 50 años. Las salamandras gigantes, los anfibios más grandes, han llegado a más de 50 años. Una langosta americana puede vivir también más de 50 años.

Saturno describe su órbita en torno al Sol en 29,46 años. Sirio y su compañera enana blanca, Sirio B, tardan 49,54 años en girar una en torno a la otra.

Hay dos variedades de átomos, o isótopos, con vidas medias de todos los rangos. La mayor parte de los mismos son en extremo inestables, y pueden tener vidas medias de sólo unos pocos segundos o minutos. Existen sólo porque se han formado a partir de unos isótopos naturales mucho más estables, o porque los han formado los científicos mediante reacciones nucleares en el laboratorio.

Algunos isótopos tienen vidas medias de varias décadas de duración. Por ejemplo, el argón-42 posee una vida media de 33 años y el estroncio-90, una vida media de 27,7 años. (La explosión de bombas nucleares produce varios isótopos radiactivos, incluyendo el estroncio-90. El estroncio-90 es químicamente similar al calcio de los huesos, y el isótopo llegaría a los huesos mediante un proceso natural. Una vez en éstos, permanecería en ellos durante extensos períodos, descomponiéndose con lentitud y sometiendo al cuerpo a una peligrosa radiación. En parte fue el espectro del estroncio-90 lo que, en 1963, persuadió a las principales potencias nucleares —Estados Unidos, Gran Bretaña y la Unión Soviética— a abandonar las pruebas con tales bombas nucleares al aire libre.)

ESCALÓN 20
3 160 000 000 de segundos ($10^{9,5}$ s)
100 años (10^{2} y)

Un intervalo de tiempo de 100 años se llama «siglo» o «centuria» (de una palabra latina que significa «cien»).

Aparte el hombre, no existe ningún mamífero, por grande que sea, que viva más de un siglo. Después del hombre, el mamífero que vive más tiempo es un elefante asiático con 69 años. Se sabe de especies de aves que viven más de 60 años, y, probablemente, algunas vivan más de los 70.

Algunos peces viven más. Los peces de vida más larga pueden ser los esturiones, y la captura de algunos ejemplares de los mismos ha permitido comprobar una edad de 82 años, a juzgar por los anillos de crecimiento de sus aletas. Algunas anémonas marinas han vivido 90 años, y es la existencia más dilatada entre todos los invertebrados.

Sin embargo, el hombre puede llegar al siglo, superarlo y sobrevivir a todos los mamíferos sin excepción, aunque éstos puedan ser decenas y hasta centenares de veces más masivos. (Se desconoce la razón de esto, pero no nos quejemos.) En realidad, algunos monarcas han reinado respetables fracciones de siglo.

Francisco José I, emperador de Austria, reinó durante 68 años, más de dos tercios de siglo, desde 1848 a 1916, y subió al trono a los dieciocho años de edad. Luis XIV de Francia estableció el récord de los tiempos modernos, con un reinado de 72 años, casi

tres cuartas partes de siglo, desde 1643 a 1715, habiendo ascendido al trono a la edad de cinco años.

Se cree que el récord de duración de un reinado, en todos los tiempos, lo ostenta Pepi II, de la VI dinastía egipcia, que ascendió al trono a la edad de seis años, hacia el 2566 a. de J.C.; se supone que reinó durante 90 años (!) y murió a la edad de noventa y siete años.

Entre los centenarios se encuentra Bernard de Fontenelle, escritor francés (1657-1757) que murió exactamente unas semanas antes de celebrar su centésimo cumpleaños. William David Coolidge (1873-1974) —que hizo posible el empleo de los filamentos de tungsteno en las bombillas— vivió ciento un años, y Michel Eugène Chrevreul (1786-1889), que realizó importantes trabajos sobre las grasas, ciento tres.

La vida humana más larga de cuyo nacimiento y muerte se tienen pruebas fiables fue la de un canadiense francés. Pierre Joubert, que nació el 15 de julio de 1701 y murió el 16 de noviembre de 1814, a la edad de 113,34 años, o sea, que vivió más de 3,5 mil millones de segundos. Su corazón latió 4 mil millones de veces antes de detenerse, mientras que los mamíferos no humanos, incluso en las más favorables condiciones, raramente soportan más de mil millones de latidos. Al parecer, cuando murió Joubert, ni un solo mamífero (humano o no humano), en ninguna parte del mundo, estaba aún vivo si había nacido cuando vino al mundo el canadiense francés.

Los únicos animales que superan al hombre en cuanto a longevidad son algunas tortugas. La edad más elevada de la que se tienen noticias es la de una tortuga que murió a los 152 años (casi 5 mil millones de segundos).

Astronómicamente, el más famoso de los cometas, el Halley, tarda 76,1 años en describir su órbita en torno al Sol. A su vez, el planeta Urano la describe en 84,0 años, y Neptuno, en 164,8 años. Ningún animal terrestre podría sobrevivir a una sola órbita de Neptuno en torno al Sol.

Las dos estrellas del sistema binario de Alfa del Centauro giran alrededor de un centro común de actividad en 80,09 años, mientras que las dos estrellas del sistema de Gamma de la Virgen lo hacen en 171,4 años.

Entre los isótopos, el molibdeno-93 tiene una vida media de 100 años por lo menos, y el terbio-157, de 150 años.

Aquí hemos alcanzado ya el ámbito en que conviene mirar hacia atrás en la Historia, en lo tocante al tiempo con el que estamos tratando, en el que observaremos un cambio considerable. Hace un centenar de años no había computadoras, ni bombas nucleares, ni televisión, ni radio, ni aviones, ni películas, ni automóviles. Chester Alan Arthur era presidente de Estados Unidos, y Morrison R. White, presidente del Tribunal Supremo. La reina Victoria iba a celebrar sus bodas de oro, tras haber permanecido cincuenta años en el trono de Gran Bretaña; Guillermo I era el kaiser de Alemania y se aproximaba al final de su larga vida. El Papa era León XIII.

ESCALÓN 21
10 000 000 000 de segundos (10^{10} s)
316 años ($10^{2,5}$ y)

En el nivel de tiempo del Escalón 21 nos encontramos ya mucho más allá del reino de la longevidad animal, pero aún nos queda el reino de las plantas. Hay bastantes tipos de árboles que pueden vivir mucho más de tres siglos.

Pero aunque el hombre haya quedado atrás, las instituciones humanas pueden sobrevivir a quienes las fundaron. Estados Unidos (a partir de la Declaración de Independencia, el 4 de julio de 1776) tienen una antigüedad de 207 años en el momento en que escribo estas líneas. Individualmente considerados, los Estados son aún más antiguos. El más joven de los trece Estados originales es Georgia, que se fundó en 1733, es decir, que tiene ya 250 años de antigüedad.

Si miramos 316 años atrás, no existían aún ni Estados Unidos ni el Estado de Georgia, pero los ingleses habían llegado 46 años antes a lo que hoy es Massachussets, y a Virginia, 59 años antes. La ciudad de Québec tenía 58 años de vida, y Canadá era francés. Nueva Amsterdam tenía 43 años de edad y dos años antes había sido tomada por los ingleses, quienes la rebautizaron con el nombre de Nueva York.

Carlos II, que había sido restaurado en el trono seis años antes, era rey de Inglaterra, y Londres sufría una plaga y un gran incendio. Newton era entonces un joven que descubría cómo la luz blanca podía descomponerse en colores y trabajaba ya en la ley de la gravedad. Alejandro VII era Papa; Luis XIV de Francia era aún joven. Alejandro era zar de Rusia; Leopoldo I, emperador del Sacro Imperio Romanogermánico, y Carlos II acababa de ascender al trono de España. Habían acabado las guerras de Religión, y el Imperio otomano se encontraba en el ápice de su expansión territorial.

Plutón, el más distante de los planetas, gira en torno al Sol en 247,1 años, y las dos estrellas del sistema binario de Eta de Casiopea rotan en 401 años en torno a un centro común de gravedad.

La vida media del argón-39 es de 269 años, y la del niobio-92, de unos 350 años.

ESCALÓN 22
31 600 000 000 de segundos ($10^{10,5}$ s)
1 000 años (10^3 y)

Un millar de años suele denominarse un «milenio» (de las palabras latinas que significan precisamente «un millar de años»). Ni siquiera este lapso de tiempo supera la capacidad de supervivencia de un árbol. La vida media de una secoya es de unos 1 100 años.

Hace un millar de años, en Inglaterra reinaba Edgardo y era aún anglosajona. Sólo 83 años después, Guillermo de Normandía derrotó a los sajones en Hastings y se convirtió en Guillermo *el Conquistador*. En Francia reinaba Lotario, descendiente de Carlomagno. Cuatro años después Hugo Capeto se convertiría en rey de Francia y fundaría la línea moderna de los reyes franceses, Otón II era el emperador del Sacro Imperio Romanogermánico, y Basilio II, emperador de Bizancio. (El Imperio bizantino se encontraba entonces en el ápice de su fuerza militar.)

El isótopo terbio-158 tiene una vida media de 1 200 años. El radio-226, el isótopo de vida más larga, tiene una vida media de 1 602 años.

ESCALÓN 23
100 000 000 000 de segundos (10^{11} s)
3 160 años ($10^{3,5}$ y)

Aquí nos aproximamos al máximo de la longevidad para cualquier organismo viviente. Las gigantes secoyas, el más masivo de todos los organismos vivientes,

figuran entre las pocas especies de organismos que pueden vivir más de cien mil millones de segundos. Algunas de las hoy existentes deben de tener 3 750 años (33 veces la vida más dilatada de un ser humano).

Al parecer, el ser viviente más antiguo sería un pino del este de Nevada. Su edad se estima en 4 900 años, aunque otro árbol del grupo, que, desgraciadamente, ha sido cortado, estaría en pie 5 000 años (45 veces la vida máxima de un ser humano).

La vida media del carbono-14 es de 5 600 años, lo cual le hace ideal para fechar piezas antiguas de materia orgánica: madera, carbón vegetal, tejidos, etcétera. La mayor parte del fechado de los tiempos antiguos y prehistóricos depende hoy de los análisis con el carbono-14.

Si miramos cien mil millones de segundos hacia atrás en la Historia nos encontraremos que, hace 3 160 años (1177 a. de J .C.), los israelitas vivían el período de los Jueces, y Gedeón luchaba contra los medianitas. Los egipcios, bajo Ramsés III, luchaban entonces contra «Los pueblos del Mar», y acababa su período de gloria. Los asirios trataban de levantar su imperio. La Gran Pirámide, construida hacia el año 2500 a. de J.C., tenía ya 14 siglos de antigüedad en 1178 a. de J.C. y ahora dura ya 4 500 años, aunque no es tan vieja como el pino aún existente al que nos hemos referido. Resulta excitante pensar que una frágil pieza de vida sea, en la Tierra, más antigua que las pirámides.

ESCALÓN 24

316 000 000 000 de segundos ($10^{11,5}$ s)
10 000 años (10^4 y)

El Escalón 24 nos lleva más allá de los límites de la Historia. Los detalles que componen la Historia sólo pueden conocerse cuando ha sobrevivido materia escrita que nos dé los nombres y los acontecimientos tal y como los conocieron los testigos contemporáneos.

La escritura fue inventada en Sumeria, hacia el 3200 a. de J.C. por lo cual la Historia tiene una duración máxima de sólo 5 200 años, o sea, que es únicamente tres siglos más antigua que el citado árbol que es el ser viviente más viejo.

Sin embargo, la civilización es más antigua que la Historia. Podemos fechar la civilización (derivada de una voz latina que significa «habitante de la ciudad») a partir de la primera fundación de las ciudades. La ciudad más antigua de Oriente Medio se remontaría hacia el año 9000 a. de J.C. Por tanto, la civilización tendría unos 11 000 años de antigüedad.

Una interpretación literal de los primeros libros de la Biblia nos llevaría a creer que la Tierra y el Universo no serían mucho más viejos que la escritura. La mayor parte de las ediciones de la Biblia del rey Jacobo («King James»), citan el año 4004 a. de J.C. como la fecha de la creación divina, de acuerdo con un cálculo de James Ussher, obispo de la Iglesia anglicana, hace poco más de tres siglos. Eso daría al Universo una antigüedad de sólo 6 000 años.

Suponemos que nuestro viejo pino se originaría en una piña producida por un pino padre, que tendría ya algo más de mil años de antigüedad por aquella época. En tal caso, si hemos de creer a James Ussher, el viejo padre pino de nuestro longevo árbol habría sido creado por Dios, y el ahora viviente sería sólo la segunda generación.

Según los cálculos judíos medievales, el Universo fue creado el año 3761 a. de J.C., por lo cual tendría sólo algo más de 5 740 años. El calendario religioso judío cuenta los años a partir de esta supuesta fecha de la creación.

Algunos ortodoxos griegos sitúan la creación más allá, hacia el año 5509 a. de J.C., lo cual llevaría la edad del Universo hasta cerca de los 7 500 años.

Los creacionistas contemporáneos, que se aferran a las palabras literales de la Biblia, opinan que el Universo tiene, por lo menos, 10 000 años de antigüedad.

Pero ni aun así sería más antiguo que las ciudades más antiguas y, dado que la Ciencia no acepta las leyendas creacionistas —y no puede por menos de proceder así, ya que se apoya en unas pruebas irrebatibles—, seguiremos ascendiendo por la escalera del tiempo.

ESCALÓN 25
1 000 000 000 000 de segundos (10^{12} s)
31 600 años ($10^{4,5}$ y)

El eje de la Tierra descansa en una casi fijada dirección, que es un ángulo de 23,5 grados, desde la perpendicular al plano en el que gira en torno del Sol. Esta inclinación sobre su eje es causa de que el Sol ascienda y descienda en el firmamento, mientras la Tierra gira en torno a él, lo cual determina la alternancia de las estaciones.

Mientras mantiene su ángulo de inclinación —con muy lentas y escasas variaciones sobre un promedio—, el eje señala un lento círculo. Si se extendiese por el firmamento el extremo norte del eje, interseccionaría la bóveda celeste muy cerca de la posición de la Estrella Polar. A medida que pasan los años, ese punto de intersección que roza lentamente la Estrella Polar se desplaza, marca un círculo y, llegado el momento, retorna a la Estrella Polar. Este movimiento se llama «precesión de los equinoccios».

El eje traza un círculo completo en 25 784 años. En otras palabras: cuando el eje señaló por última vez hacia la Estrella Polar, el hombre no había alcanzado todavía un estadio civilizado en ninguna parte del mundo. Y ahora preguntamos: ¿en qué estadio se encontrará cuando el eje vuelva a señalar hacia la Estrella Polar?

Hace unos 31 600 años, la Tierra se encontraba de pleno en su más reciente Era glacial, y el hombre, aunque incivilizado, producía ya magníficas obras: pintaba en las cavernas y confeccionaba pequeñas herramientas con hueso y marfil, así como herramientas mayores partiendo del pedernal. En los 31 600 años que han pasado desde entonces, un rayo de luz habría viajado desde la Tierra hasta el centro de la Galaxia.

El protactinio-231 tiene una vida media de 32 500 años, muy cerca del nivel de tiempo del Escalón 25.

ESCALÓN 26
3 160 000 000 000 de segundos ($10^{12,5}$ s)
100 000 años (10^{5} y)

Si retrocedemos 100 000 años, comprobaremos que aún no se había presentado la era glacial más reciente (la cuarta en este período geológico, según la forma usual de cálculo). El mundo se hallaba en pleno «período interglacial», lo mismo que ahora. El «hombre moderno» no había aparecido aún. Sin embargo, el *Homo sapiens,* existía ya desde hacía mucho tiempo; aunque en una variedad llamada «Hombre de Neandertal».

El torio-230 tiene una vida media de 80 000 años.

ESCALÓN 27

10 000 000 000 000 de segundos (10^{13} s)
316 000 años ($10^{5,5}$ y)

Las órbitas más amplias del Sistema Solar son las descritas por los cometas. El cometa Kohoutek, cuyo punto de mayor aproximación al Sol se produjo en 1973, describe una órbita tan enorme, que tarda en recorrerla 216 500 años.

Hace 316 000 años, no existía el *Homo sapiens.* Sin embargo, había otros homínidos (organismos emparentados más próximamente con los seres humanos que con los monos). Se trataba del *Homo erectus,* más familiarmente conocido como «Hombre de Java» y «Hombre de Pekín». Ya en aquel tiempo, los homínidos habían avanzado lo suficiente como para descubrir el empleo del fuego.

El tecnecio-99, el isótopo de tecnecio de más dilatada vida, tiene una vida media de 212 000 años.

ESCALÓN 28

31 600 000 000 000 de segundos ($10^{13,5}$ s)
1 000 000 de años (10^{6} y)

Incluso en este estadio hay períodos de revolución. Próxima del Centauro, la apagada enana roja más cercana a nosotros, puede girar en un período de 1 250 000 años en torno al centro de gravedad de las dos estrellas mayores del sistema Alfa del Centauro. Los cometas distantes de nuestro Sistema Solar pueden tener períodos de revolución tan grandes e incluso mayores.

Si retrocediéramos un millón de años en la historia de la Tierra, nos encontraríamos a comienzos del Pleistoceno, la más reciente Era geológica. La edad del hielo no había comenzado aún, pero ya existía el *Homo erectus,* aunque, probablemente, no había descubierto todavía el uso del fuego. (El aluminio-26 tiene una vida media de 740 000 años; el manganeso-53, de 1 900 000 años.)

ESCALÓN 29

100 000 000 000 000 de segundos (10^{14} s)
3 160 000 años ($10^{6,5}$ y)

Hace tres millones de años no había aparecido aún el *Homo erectus.* Los homínidos existentes formaban un primitivo y pequeño grupo cuyos vestigios se encontraron por primera vez en el sudeste de África y a los que se llamó *Australopitecus* («Mono del Sur», aunque se hallasen más próximos a los seres humanos que a los monos). Su primera evolución se produjo hace unos 4 000 000 de años. La Tierra se hallaba en el Plioceno. (El celsio-135 tiene una vida media de 3 000 000 de años.)

ESCALÓN 30

316 000 000 000 000 de segundos ($10^{14,5}$ s)
10 000 000 de años (10^{7} y)

Hace diez millones de años, el primer homínido, el *Ramapithecus,* se extendía por Asia, después de haber evolucionado en el este de África unos veinte millones de años antes. (El yodo-129 tiene una vida media de 17 000 000 de años.)

ESCALÓN 31

1 000 000 000 000 000 de segundos (10^{15} s)
31 600 000 años ($10^{7,5}$ y)

Hace treinta millones de años aún no había comenzado el Plioceno, y la Tierra se encontraba a mitad de la Era anterior, es decir, el Mioceno. Los primeros homínidos no habían aparecido aún, pero estaban evolucionando ya los organismos parecidos a los monos, como el *Dryopithecus,* el antepasado común del gorila, el chimpancé y los homínidos. Los primeros monos aparecieron hace unos cuarenta millones de años. (El plomo-205 tiene una vida media de 30 000 000 de años.)

ESCALÓN 32

3 160 000 000 000 000 de segundos ($10^{15,5}$ s)
100 000 000 de años (10^{8} y)

Si retrocediéramos 100 000 000 de años, nos hallaríamos en el Cretácico. Los primates (grupo al que pertenecen los lémures, monos y homínidos) que empezaban a evolucionar, habían alcanzado ya el primer estadio del lémur. (Los monos no evolucionaron hasta hace 70 000 000 de años.)

En esta época, todos los mamíferos eran pequeños e insignificantes, y las especies dominantes eran los grandes reptiles, denominados, popularmente, «dinosaurios». Desaparecieron más bien de repente hacia la época en que se hallaban evolucionando los monos. (El plutonio-244 tiene una vida media de unos 76 000 000 de años.)

Algunas estrellas no permanecen durante mucho tiempo en una fase estable y brillante (la secuencia principal). Cuanto más masiva es la estrella, tanto menos tiempo permanece en la secuencia principal. Las estrellas de la clase espectral B (que son de tres a nueve veces tan masivas como nuestro Sol), permanecerán en la secuencia principal no más de 100 000 000 de años, y luego estallarán, se colapsarán, o ambas cosas. Podemos suponer con toda seguridad que cualquier estrella de la clase espectral B, actualmente visible, no se formó antes del tiempo en que los dinosaurios estaban completando su permanencia en la Tierra.

ESCALÓN 33

10 000 000 000 000 000 de segundos (10^{16} s)
316 000 000 de años ($10^{8,5}$ y)

Hace trescientos millones de años no había mamíferos ni aves. Ni siquiera los dinosaurios habían evolucionado; pero sus primitivos antepasados reptiles empezaban a surgir a la vida.

En aquel tiempo, la Tierra aún no había sido colonizada por la vida. Los primeros animales terrestres aparecieron hace unos 380 000 000 de años, y las primeras plantas terrestres, hace 425 000 000 de años. Antes de esto, la superficie terrestre era estéril, aunque, naturalmente, había vida en el mar.

Los primeros fósiles de cualquier clase, incluso marinos, tienen unos 600 000 000 de años de antigüedad.

El uranio-235 tiene una vida media de 710 000 000 de años. Los isótopos de vida inferior a ésta, podrían no ser de origen primordial. En otras palabras: si hubo en la Tierra cantidades sustanciales de un isótopo particular en el tiempo de su formación, hoy sólo podrían existir vestigios del mismo si tuviesen una vida media más breve que el uranio-235. En realidad, y dado que la mitad de cualquier uranio-235 desaparece después de 710 000 000 de años, la mitad de la mitad restante necesita otros 710 000 000 de años, y así indefinidamente, por lo cual ahora existiría sólo 1/100 del uranio-235 presente en el tiempo de la formación de la Tierra. Pese a ello, se trataría de cantidades aún sustanciales. Uno de cada 140 átomos de uranio encontrado en la corteza es uranio-235.

ESCALÓN 34

31 600 000 000 000 000 de segundos ($10^{16,5}$ s)
1 000 000 000 de años (10^9 y)
1 eón (10^0 e)

Mil millones de años se denomina a veces 1 «eón» (que simbolizaré con «e» y emplearé por conveniencia).

Las estrellas de la clase espectral A, incluyendo a Sirio, Vega y Altair por ejemplo, que son 2 ó 3 veces más masivas que el Sol, tienen una existencia, en la secuencia principal, de 0,5 a 1 eón. Cualquier otra estrella que brille hoy en el cielo, debe de haberse formado en el momento en que la vida existía ya en el mar hacía algunos eones.

Sin embargo, la vida existente en el mar hace un eón se reducía a los más sencillos organismos invertebrados, y su tamaño, en el mejor de los casos, sería microscópico.

El potasio, tal y como se encuentra en la Naturaleza, está compuesto por tres isótopos. Dos de ellos, el potasio-39 y el potasio-41, son estables y forman, virtualmente, todo el elemento. No obstante, existe también potasio-40, que es ligeramente radiactivo, y que tiene una vida media de 1,26 eones (1,77 veces el del uranio-235). Esto significa que hoy existe sólo 1/13 de la provisión primordial de potasio-40, la cantidad presente en la época de la formación de la Tierra. Aun así, de cada 850 átomos de potasio existentes, 1 es de potasio-40.

Todos los tejidos vivos contienen potasio, elemento esencial para la vida. Nuestros propios cuerpos contienen billones de átomos de potasio, y 1 de cada 950 de los mismos es potasio-40 radiactivo. Sin embargo, esto no es alarmante. Cuanto mayor es la vida media de un átomo radiactivo, tanto menores son las descomposiciones por segundo, y cuando alcanzamos la vida media en eones, el número de descomposiciones es ya demasiado débil como para preocuparnos.

ESCALÓN 35
100 000 000 000 000 000 de segundos (10^{17} s)
3,16 eones ($10^{0,5}$ e)

Hace tres eones empezaba a evolucionar la vida en la Tierra y existía sólo en unas formas tan primitivas y poco complicadas como las bacterias o las algas más simples. Las rocas más antiguas que se han podido fechar con seguridad, tienen unos 3,76 eones de antigüedad, aunque la Tierra debe de ser más vieja. En realidad, una variedad de líneas de evidencia apunta hacia la Tierra, e incluso a todo el Sistema Solar, en el sentido de que se formaría hace unos 4,6 eones.

La vida media del uranio-238 —la forma isotópica más estable de dicho elemento— es de unos 4,51 eones. Ello significa que aún existe la mitad del suministro primordial de uranio-238. Dado que el uranio-238 tiene una vida media de 6 1/3 veces la del uranio-235, el uranio-239 se descompone de una forma más lenta que la del uranio-235, por lo cual el primero gana constantemente respecto al último. A medida que pasan los eones, el uranio se convierte cada vez más pesadamente en uranio-238. Actualmente hay 556 átomos de uranio-238 por cada 4 átomos de uranio-235. En el momento en que se formó la Tierra había 2,7 veces más uranio de ambas formas del que existe hoy, y había sólo 11 átomos de uranio-238 por cada 4 de uranio-235.

Una estrella como Proción, de la clase espectral F y sólo 1,25 veces tan masiva como el Sol, tendría una existencia total, en la secuencia principal, de unos 4 eones. Por tanto, en el mejor de los casos debe de ser algo más joven que el Sol; de lo contrario, estaría ya a punto de expansionarse hacia una gigante roja y luego colapsarse.

ESCALÓN 36
316 000 000 000 000 000 de segundos ($10^{17,5}$ s)
10 eones (10^{1} e)

Hace diez eones no había Tierra, ni Sol, ni Sistema Solar; sólo una vasta nube de polvo y gas, a partir de la cual, más de cinco eones después, se formaría el Sistema Solar. No obstante, había ya otras estrellas (sin duda, circuidas por sus sistemas planetarios). Algunas de ellas siguen brillando, mientras que otras hace mucho que han llegado al final de su permanencia en la secuencia principal, se han expansionado y colapsado.

Las estrellas que existían hace diez eones estaban agrupadas en galaxias que, a su vez, formaban enjambres, y el total constituía el Universo. Sin embargo, hace diez eones el Universo era mucho menos voluminoso, y su densidad media era mucho mayor, lo cual se da en el Universo actual. Dado que el Universo se expansiona de una forma estable con el paso del tiempo, lo veríamos contrayéndose si retrocediéramos en el tiempo. Hará unos diez eones, el Universo tendría sólo una décima parte de su volumen actual y, pese a contener ya todas sus galaxias, éstas deberían de estar agrupadas mucho más próximas entre sí.

Si retrocediéramos aún más en el pasado, veríamos cómo el Universo seguiría contrayéndose hasta un único punto. A partir de este punto se produjo una gran explosión, conocida familiarmente con la expresión inglesa de *big bang*. Ese gran estallido tuvo lugar hace tal vez unos 15 eones, tiempo que suele considerarse como la edad del Universo.

La vida media del torio-232 (la única forma de dicho elemento que se presenta en la Naturaleza) es de 14,1 eones. Esto significa que aún existe la mitad del torio que se encontraba en el Universo cuando se formaron los elementos, no mucho después del *big bang,* pese a la incesante descomposición de los átomos de torio a través de toda la existencia del Universo.

Tampoco la edad del Universo limita nuestra ascensión en la escalera del tiempo, puesto que hay tiempo tanto en el futuro como en el pasado. Por ejemplo, el Sol sigue en la secuencia principal en que estaba desde poco después de su formación, y seguirá aún en la misma durante muchos eones. En su nivel de masa puede permanecer en dicha secuencia por lo menos durante 12 eones. Dado que el Sol existe en su forma actual desde hace 4,6 eones, sólo han transcurrido tres octavas partes de la vida de su secuencia principal. O sea, una apacible estrella de mediana edad.

ESCALÓN 37
1 000 000 000 000 000 000 de segundos (10^{18} s)
31,6 eones ($10^{1,5}$ e)

Las estrellas, en cierto modo, menos masivas que el sol, como Alfa del Centauro B ó 61 del Cisne A, tienen unas vidas de secuencia principal hasta de 30 eones.

El rubidio se presenta en la Naturaleza en dos isótopos, rubidio-85 y rubidio-87, que se fundan en la proporción de 13 átomos del primero por 5 átomos del segundo. El rubidio-85 es estable, mientras que el rubidio-87 es ligeramente radiactivo, con una vida media de 48 eones. Durante todo el tiempo que existe el Universo, se ha descompuesto sólo una octava parte de los átomos de rubidio-87 que existían originariamente.

ESCALÓN 38
3 160 000 000 000 000 000 de segundos ($10^{18,5}$ s)
100 eones (10^2 e)

Sólo las más pequeñas enanas rojas pueden permanecer en la secuencia principal durante períodos de tiempo del Escalón 38. Estrellas tales como la Barnard y la Próxima del Centauro pueden seguir goteando sus débiles fragmentos de radiación durante un total de 200 eones.

La vida media del samario-147 es de unos 105 eones.

Más allá de este escalón sólo cabe prolongar las duraciones del tiempo en conexión con las vidas medias de algunos átomos intensamente radiactivos, tantos que sus vidas medias se extienden a lo largo de miles y millones de eones. Naturalmente, cuanto más larga sea la vida media, más difícil será detectar las pocas descomposiciones que se producen y medir el valor actual de la vida media. Por ejemplo, supongamos que nos deslizamos cierto número de escalones...

ESCALÓN 57
10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de eones (10^{28} s)
316 000 000 000 de eones ($10^{11,5}$ e)

Esto supone un tiempo de 316 mil millones de eones, más de 2 mil millones de veces la vida total del Universo y, sin embargo, es posible que el molibdeno-130 tenga una vida media de dos veces esta extensión de tiempo.

En vista de ello, ¿es posible que cada átomo se pueda descomponer si esperamos lo suficiente? Aparentemente, todos los átomos se han formado a partir de hidrógeno-1, a través de los procesos desarrollados, primero, cuando se produjo el *big bang*, y luego, en el núcleo de las estrellas. El núcleo de hidrógeno-1 es, simplemente, un protón. En tal caso, ¿se descompondrán en protones individuales todos los átomos si aguardamos lo suficiente?

Es posible que ni siquiera los protones sean estables, sino que se descompongan —aunque al cabo de increíbles espacios de tiempo— en partículas menos masivas, por lo que, ¿es posible que, con el tiempo, el Universo esté compuesto sólo de electrones, neutrones, fotones y gravitones? Saltémonos unos escalones más...

ESCALÓN 78
316 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 de segundos ($10^{38,5}$ s)
10 000 000 000 000 000 000 000 de eones (10^{22} e)

Esto supone un tiempo de 10 mil trillones de eones. Según las teorías corrientes, es posible que esa enorme extensión de tiempo represente la vida media del protón. Mientras escribo estas líneas los físicos intentan, mediante experimentos, comprobar si puede medirse alguna ruptura ocasional de un protón a causa de esta inestabilidad.

El ámbito de tiempo del Escalón 78 es hasta ahora el mayor lapso que tiene un posible significado físico, con lo cual llegamos al final de nuestra ascensión por la escalera del tiempo.

Regresemos ahora al segundo e iniciemos un descenso.

LA ESCALERA DEL TIEMPO HACIA ABAJO

ESCALÓN 1
1 segundo (10^0 s)

Las otras dos unidades básicas de medición que hemos manipulado, el metro y el kilogramo, aunque no sean excesivamente grandes, tampoco las consideramos exageradamente pequeñas. Unas fracciones considerables, como por ejemplo, el centímetro y el gramo, parecen encontrarse dentro de una cierta normalidad, por lo cual, al menos desde el principio, hemos encontrado cosas familiares en el descenso de la escalera.

Sin embargo, el segundo de tiempo parece una unidad muy pequeña, la más pequeña con que nos encontramos en la vida ordinaria. Cualquier fracción de segundo parecería demasiado pequeña como para manipularla, y pese a lo cual... se pueden hacer muchas cosas en un segundo.

El límite usual de velocidad para los coches, en Estados Unidos, desde que empezó a escasear la gasolina en 1973, es de 88,5 kilómetros por hora (55 millas). En un segundo, un automóvil que se mueva a tal velocidad recorrerá 2,46 decámetros (unas tres décimas partes de una manzana de la ciudad).

También en un segundo, una onda sonora (en las condiciones ordinarias de la superficie terrestre), recorrerá 3,32 hectómetros a través del aire (es decir, 4 1/8 manzanas de casas en la ciudad). En el mismo tiempo, la Tierra viajará 29,8 kilómetros en su recorrido en torno del Sol, y la luz recorrerá 300 megámetros (o, más exactamente, 299,792 megámetros).

Reteniendo todo esto, podemos empezar el descenso con gran confianza.

ESCALÓN 2
0,316 segundos ($10^{-0,5}$ s)
3,16 decisegundos ($10^{0,5}$ ds)

Los prefijos del sistema métrico se usan corrientemente para intervalos de tiempo inferiores a un segundo. Los prefijos «deci-» o «centi-» no se usan casi nunca, pero están permitidos en el sistema SI y los emplearé a partir de ahora.

En este intervalo de tiempo, las alas de un pequeño colibrí batirán unas 22 veces, y hay un pájaro sudamericano, llamado colibrí cornudo, cuyas alas se mueven 28 veces en ese intervalo de tiempo. Un diapasón que suene en do medio vibrará 83,4 veces.

El sonido recorrerá 1,05 hectómetros en este tiempo ó 1,3 manzanas de casas; la luz, 95 megámetros, ó 2 1/3 veces en torno al ecuador de la Tierra.

El silicio-25 tiene una vida media de 2,3 decisegundos; el astatinio-212, de 3,0 decisegundos, y el sodio-20, de 3,9 decisegundos.

ESCALÓN 3
0,1 segundos (10^{-1} s)
1 decisegundo (10^{0} s)

Una onda de sonido recorrerá en 1 decisegundo 3,32 decámetros; un reactor supersónico, hasta 9 decámetros, ó 1,1 manzanas de casas.

En ese mismo decisegundo, un satélite en una órbita baja en torno a la Tierra, avanzará 8 hectómetros, ó 10 manzanas de casas; la Tierra, en su movimiento en torno del Sol, recorrerá 3 kilómetros, ó 37 1/2 manzanas de casas.

Siempre en un decisegundo, un rayo de luz viajaría 30 megámetros, o sea, las tres cuartas partes de la distancia en torno a la Tierra por el ecuador, o casi ocho veces la distancia (en avión) entre Nueva York y San Francisco.

Las ondas de radio más largas empleadas en las emisiones corrientes de AM vibrarán 55 000 veces en 1 decisegundo.

El helio-8 tiene una vida media de 1,22 decisegundos; el carbono-9 de 1,27 decisegundos, y el litio-9, de 1,76 decisegundos.

ESCALÓN 4
0,031 6 segundos ($10^{-1,5}$ s)
3,16 centisegundos ($10^{0,5}$ cs)

En los glóbulos rojos humanos se produce un cambio constante y, así, en 3,16 centisegundos, casi 73 000 mueren y se desintegran. Dicha cantidad, considerada en sí, parece espantosamente elevada, pero no lo es si decimos que a través del torrente sanguíneo de un hombre medio circulan 25 000 000 000 000 de glóbulos rojos. El cuerpo humano es perfectamente capaz de remplazar esos 73 000 glóbulos en los mismos 3,16 centisegundos.

Como ejemplo de otra clase de destrucción, 1 gramo de uranio experimentará 420 descomposiciones radiactivas en 3,16 centisegundos, mientras que en el mismo intervalo de tiempo, 1 gramo del mucho más inestable radio experimentará la descomposición de 1 170 000 000 de átomos. Una vez más, la pérdida de más de mil millones de átomos en un lapso tan breve, sería causa de que el radio no tardase mucho tiempo en desaparecer por completo. Sin embargo, un gramo de radio contiene a este respecto 2 670 000 000 000 000 000 000, o más de dos mil billones de veces tantos átomos como pueden descomponerse en este intervalo de tiempo del Escalón 4. No es sorprendente, pues, que hayan de transcurrir 1 620 años para que se descomponga la mitad del radio, y para que el uranio dure, en consecuencia, mucho más (especialmente teniendo en cuenta que disminuye el número de átomos que se descompone en cada unidad dada de tiempo, a la vez que disminuye también el número total de átomos que permanece intacto).

Y, lo que es muy curioso: aún podemos considerar un objeto astronómico. Las pequeñas estrellas neutrónicas, que tienen la masa ordinaria de una estrella en una esfera de sólo unos pocos kilómetros de diámetro, giran sobre su eje en períodos muy breves. La estrella neutrón de la Nebulosa del Cangrejo rota una vez cada 3,3099 centisegundos.

ESCALÓN 5

0,01 segundos (10^{-2} s)
1 centisegundo (10^{0} cs)

En un centisegundo, el impulso nervioso del hombre recorre 1 metro o, *grosso modo*, va del cerebro a la mano.

El aleteo más rápido de un pájaro, el del colibrí cornudo, no llegará a producir un aleteo en un centisegundo. Las alas de una abeja melífera batirán 2 veces, mientras que las de una mosca enana lo harán 10 veces. Este último es el aleteo más rápido que se conoce de cualquier organismo.

En un centisegundo, el sonido viaja 3,3 metros, o sea, casi la anchura de la sala de estar de una vivienda de la clase media. Pero un rayo de luz recorrerá 3 megámetros, lo cual equivale a la distancia entre Chicago y San Francisco.

ESCALÓN 6

0,003 16 segundos ($10^{-2,5}$ s)
3,16 milisegundos ($10^{0,5}$ ms)

Las alas de una mosca doméstica se moverán una vez en este intervalo de tiempo; y las de la mosca enana, con sus aleteos más rápidos, desarrollarán 3 movimientos.

En 3,16 milisegundos, una bala de fusil recorrerá 1 1/4 metros, lo cual equivale a una velocidad superior a la del sonido; en ese mismo tiempo, una onda sonora recorrerá sólo 1 1/8 metros, mientras que un diapasón, con un do medio, dará las cinco sextas partes de una vibración.

En este intervalo un rayo de luz recorrerá 948 kilómetros, o la distancia entre Chicago y Washington, D. C., mientras que la onda más larga de radio empleada en la emisión de AM vibrará 1 740 veces.

ESCALÓN 7

0,001 segundos (10^{-3} s)
1 milisegundo (10^{0} ms)

En un milisegundo, el impulso nervioso del hombre recorrerá 1 decímetro, o casi la anchura de la mano de un hombre adulto, mientras que la mosca enana, con su aleteo más rápido, hará un solo movimiento.

Un rayo de luz recorrerá 300 kilómetros, que es casi la distancia entre Nueva York y Washington, D. C.

ESCALÓN 8

0,000 316 segundos ($10^{-3,5}$ s)
316 microsegundos ($10^{2,5}$ µs)

En el intervalo de tiempo del Escalón 8, el mundo del hombre empieza a fijarse en la carencia de movimiento. Un automóvil que se mueva al usual límite de velocidad, en Estados Unidos, recorrerá sólo 7,8 milímetros (más o menos, la longitud de la uña del dedo meñique), mientras que el reactor más rápido avanzará sólo 2,8 decímetros (más o menos, la longitud del pie humano).

Sin embargo, un rayo de luz recorrerá 95 kilómetros, o casi la distancia entre Nueva York y Trenton.

ESCALÓN 9

0,000 1 segundos (10^{-4} s)
100 microsegundos (10^{2} µs)

En 100 microsegundos, los cuerpos astronómicos familiares tampoco avanzan demasiado. En 100 microsegundos, la Luna, en su órbita alrededor de la Tierra, recorre sólo 1,02 decímetros (la anchura de una mano), mientras que la Tierra, en su viaje alrededor del Sol, avanza sólo 1,85 metros (más o menos la distancia entre los pies de un hombre y su cabeza). Por su parte, la luz recorrerá sólo 30 kilómetros, o poco más de la extensión de la isla de Manhattan.

En 100 microsegundos, se producirá descomposición radiactiva en 1 gramo de uranio, mientras que se producirán 2 800 000 descomposiciones en 1 gramo de radio.

Abordando ahora un tema radicalmente distinto, digamos que unos 100 microsegundos después del *big bang* se formaron los protones y neutrones. Antes de los 100 microsegundos después del gran estallido, el entonces diminuto Universo constaba de quarks, partículas aún más fundamentales que los protones y neutrones.

ESCALÓN 10

0,000 031 6 segundos ($10^{-4,5}$ s)
31,6 microsegundos ($10^{1,5}$ µs)

En 31,6 microsegundos, la Tierra recorrerá sólo 6 decímetros (casi la distancia entre la rodilla y el talón del pie) en su viaje alrededor del Sol. La luz viajará 9,5 kilómetros, o dos quintas partes de la longitud de Manhattan.

ESCALÓN 11

0,000 01 segundos (10^{-5} s)
10 microsegundos (10^{1} µs)

En 10 microsegundos, la Tierra recorrerá sólo 1,8 decímetros (más o menos, la longitud de una mano) en su viaje en torno del Sol, y la luz viajará 3 kilómetros, o unas tres quintas partes de la longitud de Central Park (Nueva York).

ESCALÓN 12

0,000 003 16 segundos ($10^{-5,5}$ s)
3,16 microsegundos ($10^{0,5}$ µs)

Volvamos ahora a los tiempos de vida, pero no la de los átomos radiactivos, sino la de las partículas subatómicas.

Por lo que sabemos, algunas partículas subatómicas son estables por completo y duran eternamente, si no se producen encuentros e interactuaciones con otras partículas. Ejemplos de esto son el electrón y su número opuesto (o antipartícula), el positrón.

Otros ejemplos de partículas estables son las de tres diferentes neutrinos que se conocen en la actualidad, y los correspondientes tres antineutrinos. (Existe alguna posibilidad de que los neutrinos puedan «oscilar» desde una variedad a otra, pero aun así, y actuando a su talante, siguen siendo neutrinos para siempre.)

Así pues, tenemos el fotón (la partícula fundamental de radiación electromagnética, notablemente ligera), y el gravitón (la partícula fundamental, aún no detectada, de la radiación gravitacional). Carecen de antipartículas.

Existen también las partículas del núcleo atómico, el protón y el neutrón. El protón (y el antiprotón) tal vez no sean perfectamente estables según las teorías corrientes, pero si lo fuesen, tendrían una vida media simplemente enorme.

El neutrón (y el antineutrón) son inestables aislados y tienen una vida media que se halla en el ámbito de los minutos, como ya hemos dicho.

Todas las demás partículas subatómicas que se han detectado, son evanescentes y poseen una vida dentro del ámbito del Escalón 12, o aún más breves.

Así, existe una partícula, llamada muón (y antimuón), que tiene todas las propiedades de un electrón, pero que posee 208 veces la masa del electrón. El muón (al igual que otras partículas de vida breve) sólo existe cuando se forma a través de enérgicas colisiones que consiguen transformar cierta energía en masa, de acuerdo con las relaciones elaboradas en la teoría de la relatividad. Una vez formadas, tales partículas no duran demasiado. El muón se descompone con rapidez en un electrón y en dos neutrinos diferentes, liberando gran parte de la energía que había participado en su formación.

La vida del muón (o antimuón) es de sólo 2,2 microsegundos, tiempo durante el cual la luz recorre sólo 6,6 hectómetros, o casi las cuatro quintas partes de la anchura de Central Park. Durante la vida de un muón, las ondas más largas empleadas en las emisiones de radio AM vibran 1,22 veces, mientras que las microondas más largas lo hacen 700 veces.

ESCALÓN 13

0,000 001 segundos (10^{-6} s)
1 microsegundo (10^{0} µs)

En 1 microsegundo —una millonésima de segundo—, la Tierra recorrerá sólo 18,5 milímetros en su órbita en torno del Sol, equivalente a la longitud de la falangeta del dedo corazón o medio. La luz recorrerá 300 metros, o casi 3 3/4 de manzanas de casas.

Y en un microsegundo, en alguna parte del cuerpo, se descompondrán 2 glóbulos rojos.

ESCALÓN 14

0,000 000 316 segundos ($10^{-6,5}$ s)
316 nanosegundos ($10^{2,5}$ ns)

En 316 nanosegundos, la luz recorrerá 9,5 decámetros, o unos 1 1/6 de manzana de casas.

ESCALÓN 15

0,000 000 1 segundos (10^{-7} s)
100 nanosegundos (10^{2} ns)

En 100 nanosegundos, la luz recorrerá unos 3 decámetros en viaje de ida y vuelta, o sea, la distancia de un extremo a otro de una típica casa suburbana.

ESCALÓN 16

0,000 000 031 6 segundos ($10^{-7,5}$ s)
31,6 nanosegundos ($10^{1,5}$ ns)

Hay partículas subatómicas que, en su mayor parte son más masivas que el muón y menos que el protón. Se denominan «mesones», todos los cuales, sin excepción, son inestables y tienen una vida muy breve. Algunos «mesones-K» o «kaones», tienen existencias de hasta 57 nanosegundos, es decir, 1/40 de las de un muón. (En el curso de sus rápidas descomposiciones, todos los mesones se convierten en electrones y neutrinos, o en sus antipartículas.)

En el transcurso de la existencia de este kaón, de vida relativamente larga, la luz recorrerá unos 1,7 decámetros, tres veces la extensión de una sala de estar corriente.

ESCALÓN 17

0,000 000 01 segundos (10^{-8} s)
10 nanosegundos (10^{1} ns)

Los mesones mejor conocidos son los «mesones pi» (o «piones»). El pión positivo (y su antipartícula, el pión negativo) tienen unas vidas de 26,1 nanosegundos, un 1/85 de la existencia de un muón. Durante la vida de un pión, la luz recorre 7,8 metros, o casi la longitud de una serpiente anaconda.

El kaón mejor conocido, el kaón positivo (y su antipartícula, el kaón negativo) tienen vidas de 12,4 nanosegundos, tiempo durante el cual la luz recorre 3,72 metros, o casi la anchura de una sala de estar corriente.

ESCALÓN 18

0,000 000 003 16 segundos ($10^{-8,5}$ s)
3,16 nanosegundos ($10^{0,5}$ ns)

En 3,16 nanosegundos, la luz recorre 9,48 decímetros, o casi la extensión de la pierna de un hombre adulto. En este mismo intervalo de tiempo, 1 gramo de radio experimentará 117 descomposiciones radiactivas, las microondas más largas vibrarán una vez, y las ondas infrarrojas de mayor extensión vibrarán 7 600 veces.

ESCALÓN 19

0,000 000 001 segundos (10^{-9} s)
1 nanosegundo (10^{0} ns)

Un nanosegundo es una milmillonésima de segundo, y en ese tiempo la luz recorre 3 decímetros, o casi la longitud media del pie de un hombre adulto. Las ondas infrarrojas

más largas vibrarán unas 2 400 veces en un nanosegundo; una onda larga luminosa de luz roja lo hará 400 000 veces en este intervalo, y una onda luminosa corta de luz violeta, 800 000 veces. En otras palabras, en 1 nanosegundo la luz viajará la distancia de 2 400 ondas infrarrojas largas, ó 400 000 ondas luminosas rojas, u 800 000 ondas luminosas violeta.

ESCALÓN 20

0,000 000 000 316 segundos ($10^{-9,5}$ s)
316 picosegundos ($10^{2,5}$ ps)

En el nivel de tiempo del Escalón 20 encontramos ya la vida de un número de partículas más masivas que el protón o neutrón (tales partículas se denominan a veces «hiperones»). Uno de ellos, el «cero-xi», tiene una vida de unos 300 picosegundos, mientras que la del «cero-lambda» es de unos 250 picosegundos.

Durante la existencia de un hiperón cero-lambda, la luz recorre una distancia de 7,5 centímetros (o casi la longitud del dedo meñique). En tan pequeño intervalo de tiempo, ni siquiera la luz puede ir muy lejos, y una de las formas de comprobar la vida en este ámbito consiste en seguir las huellas de una partícula y anotar la distancia que recorre antes de descomponerse. Por lo general, tales partículas son tan energéticas cuando se forman, que se mueven casi a la velocidad de la luz, por lo cual, comprobando la distancia a que se mueven (unos cuantos centímetros o menos), puede calcularse su tiempo de vida.

ESCALÓN 21

0,000 000 000 1 segundos (10^{-10} s)
100 picosegundos (10^{2} ps)

La vida de los «menos xi» de los hiperones es de 174 picosegundos; la de los «menos sigma», de 165 picosegundos; la de los «menos omega», 150 picosegundos, y la de los «más sigma», de 81 picosegundos.

En 100 picosegundos, la luz viaja unos 3 centímetros, o casi la longitud de la falangina del pulgar.

ESCALÓN 22

0,000 000 000 031 6 segundos ($10^{-10,5}$ s)
31,6 picosegundos ($10^{1,5}$ ps)

En 31,6 picosegundos, la luz no recorre ni 1 centímetro, o la mitad de la anchura del dedo medio o anular, mientras que 1 gramo de radio experimenta 1,4 rupturas radiactivas.

ESCALÓN 23

0,000 000 000 01 segundos (10^{-11} s)
10 picosegundos (10^{1} ps)

En 10 picosegundos, la luz recorre 3 milímetros, o poco más de la anchura de una de las letras de esta página.

ESCALÓN 24

0,000 000 000 003 16 segundos ($10^{-11,5}$ s)
3,16 picosegundos ($10^{0,5}$ ps)

Recientemente, se ha descubierto un nuevo y más masivo leptón. Si el muón es muy semejante a un electrón, excepto en que tiene una masa mucho mayor, la nueva «partícula tau», o «tauón», se parece al electrón, excepto en que posee una masa *aún* mayor. La masa del tauón es unas 17 1/2 veces la de un muón, o casi 3 600 veces la de un electrón. Realmente, el tauón es más masivo que cualquier otro mesón conocido, y dos veces tan masivo como un protón.

Por ser tan masivo, resulta particularmente inestable y tiene una vida media no superior a los 5 picosegundos, tiempo durante el cual la luz recorre 1,5 milímetros.

ESCALÓN 25

0,000 000 000 001 segundos (10^{-12} s)
1 picosegundo (10^{0} ps)

En un picosegundo (una milbillonésima de segundo), la luz recorre sólo 0,3 milímetros, ó 300 micrómetros. Si el movimiento de la luz en este intervalo de tiempo se representase por una línea, se necesitaría una lupa para distinguirla de un punto. En este intervalo de tiempo, la luz atraviesa 2,4 de las ondas infrarrojas más largas, ó 400 ondas de luz roja, u 800 ondas de luz violeta.

ESCALÓN 26

0,000 000 000 000 316 segundos ($10^{-12,5}$ s)
316 femtosegundos ($10^{2,5}$ fs)

Las cámaras son instrumentos en que unos destellos de luz determinan reacciones químicas, que, a su vez, dan pautas de luz, y la oscuridad o el color registran imágenes de los objetos que ha emitido o reflejado la luz. Se han desarrollado cámaras que pueden responder a unos destellos de luz cada vez más breves; y el más breve que puede captarse y grabar una imagen es de 500 femtosegundos.

En ese tiempo, la luz recorrerá 150 micrómetros de distancia. Semejante distancia es igual a 200 veces la de la onda de luz roja, ó 400 veces la de la onda de luz violeta. Naturalmente, ésa es la distancia que recorre la luz *mientras avanza el destello.* Una vez producido el destello, esa longitud de luz (tan pequeña como un punto de luz si el ojo pudiese verlo) sigue viajando desde el punto de emisión hasta la película que hay dentro de la cámara.

ESCALÓN 27

0,000 000 000 000 1 segundos (10^{-13} s)
100 femtosegundos (10^{2} fs)

En este lapso, la luz recorrerá 30 micrómetros de distancia, o sea, unas dos veces la anchura de una típica célula humana, o la longitud de 40 ondas de luz roja, u 80 ondas de luz violeta.

ESCALÓN 28
0,000 000 000 000 031 6 segundos ($10^{-13,5}$ s)
31,6 femtosegundos ($10^{1,5}$ fs)

En este nivel nos hallamos aún en el ámbito de los esfuerzos humanos.

El «láser» es un ingenio en el que la energía se convierte en un grupo de fotones, todos los cuales tienen la misma longitud de onda y viajan exactamente en la misma dirección (luz coherente). Los láseres pueden usarse para producir unos impulsos muy breves de luz. Así, en 1982, se logró que un impulso de láser durase sólo 30 femtosegundos.

En este tiempo, la luz sólo puede recorrer unos 9 micrómetros, distancia igual a la mitad de la anchura de una típica célula humana, o unas 12 ondas de luz roja, ó 24 ondas de luz violeta.

ESCALÓN 29
0,000 000 000 000 01 segundos (10^{-14} s)
10 femtosegundos (10^{1} fs)

Un hiperón llamado «cero sigma» tiene una vida de unos 10 femtosegundos, tiempo brevísimo (el más breve hasta ahora) que corresponde a la duración de una pulsación láser y a la vida de tres cero sigma, que se descomponen inmediatamente, uno después de otro. En 10 femtosegundos, la luz recorre unos 3 micrómetros, un poco más que la anchura de la célula espermática humana.

ESCALÓN 30
0,000 000 000 000 003 16 segundos ($10^{-14,5}$ s)
3,16 femtosegundos ($10^{0,5}$ fs)

En el nivel de tiempo del Escalón 30, un rayo de luz recorre sólo las distancias de la luz visible: en 3,16 femtosegundos, 950 nanómetros, que es la longitud de 1 1/4 de las ondas de luz roja, ó 2 1/2 de las ondas de luz violeta. Sin embargo, hay ondas electromagnéticas más breves que las de la luz visible por lo cual, la luz recorre en 3,16 femtosegundos la longitud de 95 de la radiación ultravioleta más corta.

ESCALÓN 31
0,000 000 000 000 001 segundos (10^{-15} s)
1 femtosegundo (10^{0} fs)

En 1 femtosegundo (una milbillonésima de segundo), un rayo de luz recorre 300 nanómetros, o no más que las cuatro quintas partes de la longitud de onda de la onda más corta de la luz visible, pero 30 ondas de luz (o 30 ondas de luz de la radiación ultravioleta) más corta.

ESCALÓN 32

0,000 000 000 000 000 316 segundos ($10^{-15,5}$ s)
316 attosegundos ($10^{2,5}$ as)

En este tiempo, un rayo de luz recorre 9,5 longitudes de onda de la radiación ultravioleta más corta. Sin embargo, una vez más encontramos aquí radiaciones de longitud de onda aún más corta. En este mismo tiempo, la luz puede recorrer 950 de longitudes de onda de los rayos X de onda más corta.

ESCALÓN 33

0,000 000 000 000 000 1 segundos (10^{-16} s)
100 attosegundos (10^{2} as)

El «pión neutral» tiene una vida de unos 100 attosegundos, tiempo durante el cual la luz recorrerá 30 nanómetros, distancia aproximadamente igual a la anchura de una molécula de ácido nucleico, ó 300 longitudes de onda de la onda más corta de los rayos X.

Cada vez se hace más difícil decir cosas interesantes de esos intervalos de tiempo que se reducen progresivamente. Por tanto, permítasenos comenzar a dar saltos...

ESCALÓN 37

0,000 000 000 000 000 001 segundos (10^{-18} s)
1 attosegundo (10^{0} as)

En 1 attosegundo, o una trillonésima de segundo, la luz recorrerá sólo 300 picómetros, lo cual nos lleva a las dimensiones atómicas. El rayo de luz atraviesa la anchura de tres átomos de hidrógeno en contacto, lado con lado, o tres longitudes de onda de los rayos X de onda más corta, el mismo rayo que, en un segundo y cuarto, viajaría de la Tierra a la Luna.

Una vez más, tenemos radiación de una longitud de onda aún más corta. En efecto, en 1 attosegundo, la luz recorrerá la distancia de 900 longitudes de onda de la particularmente onda corta de los rayos gamma...

ESCALÓN 39

0,000 000 000 000 000 000 1 segundos (10^{-19} s)
0,1 attosegundos (10^{-1} as)

No hay prefijos en la versión SI para representar algo más pequeño que la trillonésima de una unidad básica, por lo cual hemos de referirnos a una décima de attosegundo, que representa la existencia de un «mesón eta». Durante la vida de un mesón eta, la luz sólo puede recorrer 30 picómetros, aproximadamente, un tercio del camino a través de un átomo de hidrógeno, o a través de 90 longitudes de onda de los cortos rayos gamma...

ESCALÓN 47
0,000 000 000 000 000 000 000 01 segundos (10^{-23} s)
0,000 01 attosegundos (10^{-5} as)

Se han detectado partículas de vida no superior a la cienmilmillonésima parte de un attosegundo, o la décima parte de la milbillonésima parte de una milbillonésima parte de segundo. Durante este tiempo de vida, la luz sólo puede atravesar la anchura de un protón.

En cierto sentido, carece de interés seguir más adelante. Todo lo que ocurra en lo sucesivo será el resultado de la interacción de partículas subatómicas, y no puede suceder nada en menos tiempo del que emplea la luz en ir de una partícula a otra. La luz tarda sólo 10^{-23} segundos en avanzar de una partícula a otra, aunque se hallen en contacto, por lo cual éste parece el tiempo más breve de cualquier cosa que pueda ocurrir.

Sin embargo, esto sólo es verdad respecto del Universo tal y como existe hoy y con las partículas que lo componen actualmente. En un tiempo...

ESCALÓN 87
0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 1 segundo (10^{-43} s)
0,000 000 000 000 000 000 000 000 1 attosegundos (10^{-25} as)

En la primera diezmilésima parte de segundo después del *big bang,* el Universo era tan pequeño que sólo podía haber en él protones y neutrones, y constaba principalmente de quarks. A medida que los científicos sondean más de cerca el gran estallido (en teoría), comprueban que el Universo sería cada vez más pequeño y caliente, con lo que 10^{-25} attosegundos después del *big bang,* el Universo podría haber sido tan mínimo y cálido, que ni siquiera los *quarks* pudieran existir.

Más cerca del *big bang,* ni siquiera las teorías más corrientes permiten a los físicos ir más allá, por lo cual hemos de detenernos al nivel de tiempo del Escalón 87: en este estadio, la luz puede recorrer sólo una centésima de millonésima parte de una milbillonésima parte de la anchura de un protón, donde pudo darse la plena anchura del Universo en aquel tiempo.

Así, pues, en 163 escalones, que cubren 81 1/2 órdenes de magnitud, hemos ido desde el incomprensiblemente pequeño intervalo de tiempo que pudo transcurrir entre el *big bang* y la formación de quarks, hasta el incomprensiblemente largo intervalo de tiempo que puede representar la vida media del protón.

LA ESCALERA DE LA VELOCIDAD HACIA ARRIBA

ESCALÓN 1
1 metro por segundo (10^0 m/s)
3,6 kilómetros por hora ($10^{0,55}$ km/h)

En la escalera de la longitud he representado ocasionalmente la distancia mediante la indicación del tiempo que tardaría en atravesarla un rayo de luz o cualquier otro objeto veloz. También he representado en la escalera del tiempo la duración al indicar el espacio que atravesaría en este período un rayo de luz o algún otro objeto particularmente rápido.

En uno y otro casos, trataba de la velocidad, el índice de cambio de posición con el tiempo, es decir, la distancia recorrida por un objeto móvil en determinado período de tiempo. Dado que el metro es la unidad básica de distancia, o longitud, en la versión SI del sistema métrico, y la unidad básica de tiempo el segundo, la unidad de velocidad en la versión SI será el «metro por segundo» (simbolizado por «m/s»), es decir, el número de metros que un objeto puede recorrer en un segundo.

Un metro por segundo, en términos familiares para los norteamericanos, equivale a 2,24 millas por hora, como vemos, la velocidad de un paseo ocioso. A un metro por segundo se puede recorrer una manzana de casas en 1 1/3 minutos; sin embargo, la experiencia me dice que cuando voy por las calles de Manhattan, no empleo más de 1 minuto por manzana de casas (si no cuento el retraso impuesto por los semáforos) si me muevo a mi paso normal.

No obstante, la velocidad de mi marcha es de unos 1,33 metros por segundo, ó 4,68 kilómetros por hora (lo cual equivale, en unidades norteamericanas, a unas 3 millas por hora exactamente).

Si acelero la marcha, puedo recorrer tal vez 6 1/2 kilómetros por hora, pero veo que puedo mantener dicha velocidad sólo para recorrer unas cuantas manzanas de casas, por lo cual puedo sostener la velocidad más baja, sin problemas imprevistos durante un par de kilómetros.

Por lo general nos movemos a través del aire, que opone escasa resistencia a nuestro avance. Cuando nadamos, nos abrimos paso a través del agua, que es un medio mucho más resistente.

Por muy rápido que nos parezca nadar, en realidad avanzamos a una velocidad no superior a la de un paseo y, por lo general, de un paseo más bien lento. El récord mundial de natación para los 100 metros es de 7,92 kilómetros por hora, ó 2,2 metros por segundo.

El récord mundial de natación para 1,5 kilómetros es de 14 minutos 58,27 segundos, lo cual representa una velocidad media de 6,01 kilómetros por hora, ó 1,67 metros por segundo. Indudablemente, yo no podría nadar con la rapidez de un campeón durante demasiado tiempo, pero sí podría hacerlo un joven en buena forma.

ESCALÓN 2

3,16 metros por segundo ($10^{0,5}$ m/s)
11,4 kilómetros por hora ($10^{1,05}$ km/h)

Como en cualquier otra actividad humana, hay especialistas que pueden superar, andando, a una persona media. En efecto, hay deportistas que recorren rápidamente largas distancias (no importa la distancia que recorran ni la velocidad a la que lo hagan, será siempre un paseo, ya que un pie tocará siempre el suelo).

El récord mundial de los 50 kilómetros es de 3 horas, 41 minutos y 39 segundos. Esto representa un promedio de 13,535 kilómetros por hora, ó 3,76 metros por segundo. O sea, 2 1/2 veces la velocidad promedia al andar.

Naturalmente, se puede avanzar más de prisa en una distancia más corta que en una larga, y así, la marca de la marcha de 20 kilómetros es de 1 hora, 20 minutos y 6,8 segundos. La velocidad media es aquí de 14,981 kilómetros por hora, ó 4,16 metros por segundo, o sea, 3 veces más de prisa que la velocidad promedio al nadar, y casi 2 veces tan de prisa como la mayor velocidad a que puede moverse el hombre nadando.

ESCALÓN 3

10 metros por segundo (10^{1} m/s)
36 kilómetros por hora ($10^{1,55}$ km/h)

Al desplazarnos al nivel de velocidad del Escalón 3 dejamos atrás la natación y el paseo por parte del hombre y nos enfrentamos con las carreras. El correr difiere del andar en que, cuando corremos, ambos pies a la vez no están en contacto con el suelo en determinados momentos. En conjunto, el correr es un medio más fácil y que consume menos energía que la natación, realizando ambas actividades a elevadas velocidades.

La más popular de las carreras de fondo es la maratón, con 42,19 kilómetros de longitud (26 millas y 385 yardas, según la longitud tipo en unidades norteamericanas). Es la supuesta distancia que recorrió Filípides, en el 490 a. de J.C. entre Maratón y Atenas, para comunicar la noticia de la victoria ateniense sobre los persas y que cayó muerto de fatiga tan pronto como la hubo dado.

No sabemos el tiempo que invirtió Filípides en recorrer tal distancia, pero el récord actual de la maratón es de 2 horas, 8 minutos y 33,6 segundos. Esto representa una velocidad media de 19,69 kilómetros por hora (5,47 metros por segundo) y, probablemente, es 1 1/3 veces más rápida de aquella a la que pudiera moverse un campeón de marcha sobre la misma distancia.

Las distancias más cortas se corren a una mayor velocidad promedio. Hace treinta años, 4 minutos/milla parecía un sueño irrealizable, pero ahora los especialistas corren rutinariamente una milla en menos de 4 minutos. La marca mundial es de 3 minutos, 48,8 segundos, lo cual supone una velocidad media de 25,32 kilómetros por hora, ó 7,03 metros por segundo.

El récord mundial de los 100 metros lisos es de 9,95 segundos, o sea, una velocidad media de 36,182 kilómetros por hora (10,05 metros por segundo), lo cual se halla casi exactamente al nivel de la velocidad del Escalón 3. Tal carrera incluye, al principio, unos cuantos metros en los que el corredor acelera, y otros tantos hacia el final, en que el corredor se halla cansado. En los 50 metros centrales correría a tal vez 43 kilómetros por hora, u 11,94 metros por segundo.

Esto puede parecer la velocidad máxima susceptible de alcanzar por el hombre sólo con su fuerza muscular, pero se ha de tener en cuenta que algunas partes del cuerpo pueden moverse más de prisa que el cuerpo en su totalidad. Por ejemplo, se ha informado que la velocidad de un brazo humano al asestar un rápido golpe de kárate llega a los 51,8 kilómetros por hora (14,4 metros por segundo).

El hombre puede incrementar asimismo su velocidad si corta la fricción de la superficie y se desliza en vez de correr. Sobre patines de ruedas puede llegar a los 41,5 kilómetros por hora (11,5 metros por segundo), o sea, a una velocidad no superior a la conseguida por un corredor, pero, seguramente, sí sobre unas distancias más largas. Sobre patines de hielo, la velocidad de la carrera más rápida (en 500 metros) es de 48,78 kilómetros por hora (13,55 metros por segundo).

Al considerar la velocidad a que pueden moverse los organismos no humanos tendemos a sobreestimar la velocidad de los pequeños organismos y a subestimar la de los más grandes. Tal vez nuestro juicio esté influido por el tiempo que tarda el animal en recorrer una distancia igual a la longitud de su cuerpo. Una ardilla listada parece correr, y un elefante, moverse pesadamente, pero la verdad es que éste puede correr más de prisa que aquélla. Por lo general no se cree que el elefante africano sea un animal muy veloz, pero tiene una larga andadura, y se ha informado que alcanza una velocidad de 39,5 kilómetros por hora (11 metros por segundo), o sea, casi tan rápido como puede correr un hombre para batir un récord.

También tendemos a sobreestimar la velocidad cuando consideramos un método de locomoción no familiar. Dado que una serpiente carece de patas, nos asombra su avance reptante y, tal vez pensando en lo lentamente que nos moveríamos nosotros de ese modo, afirmamos que una serpiente avanza a una velocidad mayor de la que consigue. En realidad, la velocidad más rápida sería la de la mamba negra, que puede alcanzar los 24 kilómetros por hora (6,7 metros por segundo). El reptil terrestre más rápido sería una especie de lagarto llamado corredor de carreras, que llega a los 29 kilómetros por hora (8 metros por segundo).

Y, lo que es aún más raro: algunos reptiles se mueven mejor en el agua. Tenemos las tortugas marinas laúd, que pueden alcanzar debajo del agua velocidades de 35,4 kilómetros por hora (9,8 metros por segundo), lo que haría de ellas los reptiles más veloces. (Esto es sorprendente, considerando que sus parientes terrestres —las tortugas— son notorias por su lentitud.)

Los nadadores más rápidos de raza aviar son los pingüinos, algunos de los cuales pueden nadar a 36 kilómetros por hora (10 metros por segundo). El pinnípedo más rápido, el león marino, puede nadar a 40 kilómetros por hora (11,1 metros por segundo).

ESCALÓN 4
31,6 metros por segundo ($10^{1,5}$ m/s)
114 kilómetros por hora ($10^{2,05}$ km/h)

En el nivel de velocidad del Escalón 4 dejamos ya atrás las velocidades humanas alcanzadas sólo con los músculos, pero no podemos descartar por completo a otros mamíferos.

El animal que más familiarmente relacionamos con la velocidad superior a la humana es el caballo de carreras de pura raza, sobre cuya rapidez apuestan personas muchos millones de dólares al día.

El récord mundial de un caballo de carreras es de 3 millas en 5 minutos y 15,0 segundos, equivalente a 55,17 kilómetros por hora (15,33 metros por segundo). No obstante, el récord del caballo de carreras para el cuarto de milla, es de 20,8 segundos, o sea, 69,61 kilómetros por hora (19,33 metros por segundo). En otras palabras: lo mejor que un caballo puede hacer, en una distancia corta, es 1 5/8 de lo que puede realizar el hombre. (No pocos quedarán sorprendidos de saber que un caballo supera tan poco a un ser humano en este aspecto. Y no es que no se percaten de lo rápidamente que puede correr un caballo, sino que no se dan cuenta de lo aprisa que puede correr un hombre.)

Como es natural, los caballos son animales criados para la velocidad, ejercitados y exquisitamente cuidados. Sus logros a este respecto van más allá de la capacidad media de los equinos. (Esto puede aplicarse también a los galgos, que alcanzan velocidades de 67,1 kilómetros por hora, ó 18,65 metros por segundo, sólo algo por debajo de la mejor velocidad de un caballo de carreras, y sin la ventaja de tener el paso mucho más largo de los equinos.)

¿Y qué pasa con los animales salvajes, o sea, no seleccionados especialmente, ni criados, ni entrenados por el hombre y cuyo tiempo se controla de una manera más bien azarosa, por lo cual el más rápido puede escapar a nuestro conocimiento?

Una liebre norteamericana de California puede alcanzar una velocidad de 65 kilómetros por hora (casi 18 metros por segundo). Esto se halla muy cerca de la marca de un caballo de carreras. Una orca puede alcanzar esta misma velocidad, si bien moviéndose en el medio más resistente del agua (aunque sus formas aerodinámicas eliminan virtualmente esa resistencia y sus aletas se hallan muy bien adaptadas a la propulsión).

El avestruz puede alcanzar posiblemente los 72 kilómetros por hora (20 metros por segundo), lo cual supera algo la marca de un caballo de carreras.

Sin embargo, nada de todo esto se acerca sensiblemente al nivel de velocidad del Escalón 4. Para aproximarnos a dicho nivel debemos pasar a los antílopes. El campeón del grupo es el antílope berrendo, que, según los informes, puede alcanzar una velocidad muy cercana a los 100 kilómetros por hora (27,5 metros por segundo). Pese a ello, en cortas sacudidas, incluso el antílope berrendo puede ser superado por el guepardo, el animal terrestre más rápido viviente, y cuya velocidad puede llegar a los 101 kilómetros por hora (28 metros por segundo).

Sin embargo, el guepardo puede verse superado en el agua por algunos peces. Varios peces-espada serían los seres acuáticos más rápidos e incluso las criaturas más rápidas, sin alas, de cualquier tipo. Una variedad, el pez-vela, avanzaría a la velocidad de 109,7 kilómetros por hora (30 metros por segundo), o sea, 1 2/3 veces la mejor marca de la orca.

En realidad, el pez-vela es más rápido que la mayor parte de los seres voladores.

El insecto más rápido, el murciélago más veloz e incluso el pez volador más rápido (mientras se desliza por el aire) puede alcanzar, en breves distancias, una velocidad cercana a los 55 kilómetros por hora (15 metros por segundo), sólo la mitad de la conseguida por un pez-vela.

Sin embargo, ni siquiera el pez-vela llega al nivel de velocidad del Escalón 4, y, a este respecto queda por detrás de algunas aves.

El pato marino norteamericano alcanza, en vuelo, velocidades de 116 kilómetros por hora (32 metros por segundo), justamente por encima del nivel de velocidad del Escalón 4.

La más veloz de todas las aves es el apropiadamente llamado vencejo-cola de espina, cuya velocidad ha sido cronometrada: 171 kilómetros por hora (47,5 metros por segundo). Puede avanzar 1,7 veces más de prisa que un guepardo, 2,4 veces más que el mejor caballo de carreras y unas 4 veces más aprisa que el hombre.

No le será fácil al hombre, ni siquiera con toda la tecnología de que dispone, igualar al pez-vela en el mar. El yate más rápido avanza a una velocidad de 66,8 kilómetros por hora (18,5 metros por segundo); el navío de pasajeros más veloz, a 71,0 kilómetros por hora (19,7 metros por segundo), el destructor más ligero, a 83,4 kilómetros por hora (23,2 metros por segundo). El buque de guerra más rápido es un aerodeslizador, que ha conseguido alcanzar una velocidad de 113 kilómetros por hora (31,4 metros por segundo).

La lancha motora más rápida puede correr a 156,4 kilómetros por hora (43,4 metros por segundo), lo cual supera al pez-vela y se acerca mucho a lo que el vencejo consigue en el aire.

En tierra, el hombre puede superarlo gracias a las ruedas, al hielo y a la fuerza de la gravedad, incluso sin ayuda de motores.

Así, la velocidad máxima en bicicleta es de 94,35 kilómetros por hora (26,2 metros por segundo) si pedalea una persona y de 101,24 kilómetros por hora (29,1 metros por segundo) si pedalea más de una persona. En un tobogán se han conseguido velocidades de 101,5 kilómetros por hora (28,2 metros por segundo). En otras palabras, los ciclistas y los toboganistas (en sus mejores logros) igualan al guepardo.

Pero el hombre puede superar ampliamente al guepardo, aun sin motores. En una carrera de 100 kilómetros, un planeador ha conseguido una velocidad media de 165,3 kilómetros por hora (45,9 metros por segundo). Esto casi iguala al vencejo citado.

ESCALÓN 5

100 metros por segundo (10^2 m/s)
360 kilómetros por hora ($10^{2,55}$ km/h)

Aun sin motores, el hombre puede superar también al vencejo. La mayor velocidad conseguida por un esquiador (deslizándose colina abajo) es de 200,2 kilómetros por hora (55,6 metros por segundo). Sin embargo, un trineo a vela, en superficie plana e impulsado por el viento, ha llegado a alcanzar la velocidad de 250 kilómetros por hora (64 metros por segundo). Esto es 1 1/3 veces la velocidad del vencejo, y tal vez sea la mayor rapidez que puede alcanzar el hombre sin transporte motorizado y en condiciones controladas que le permitan expectativas de sobrevivir a la prueba.

El hombre puede conseguir que objetos inanimados corran tan de prisa como el vencejo, o más aún, sólo con ayuda de la fuerza muscular.

Un *pitcher* de béisbol puede comunicar a la pelota una velocidad de 162,35 kilómetros por hora (45,1 metros por segundo); un disco de hockey sobre hielo puede deslizarse a 190 kilómetros por hora (53 metros por segundo); una pelota de tenis puede proyectarse a 263 kilómetros por hora (73 metros por segundo), y una pelota de golf, 273,5 kilómetros por hora (76,5 metros por segundo). Estas dos últimas pueden superar en velocidad a un trineo a vela.

No obstante, el objeto más rápido, en cualquier tipo de deporte, es la pelota del jai alai (pelota vasca). Puede moverse a velocidades de hasta 302,5 kilómetros por hora (84 metros por segundo). O sea, que corre 1,77 veces más de prisa que el vencejo y 4 1/3 veces más de prisa de lo que pueda hacerlo el mejor caballo de carreras.

Sin embargo, hay organismos vivientes que corren más.

Al considerar las velocidades de las aves voladoras, ya nos hemos referido a vuelos a este nivel. Sin embargo, las aves depredadoras, cuando persiguen a su presa y se arrojan contra ella, añadiendo la fuerza de la gravedad a la velocidad, pueden superar a la pelota vasca.

Por ejemplo, en un halcón peregrino buceador se han cronometrado los 350 kilómetros por hora (97 metros por segundo), y se especula respecto a una velocidad de buceo de hasta 385 kilómetros por hora (107 metros por segundo), como marca posible. Si fuese así, sería la forma más rápida a la que pudiera moverse cualquier cosa viviente, de un modo controlado, sin ayuda de motor alguno y exactamente en el nivel de velocidad del Escalón 5. No obstante, hemos de considerar de nuevo los objetos inanimados, y entre ellos, el que impresionó ya incluso al hombre primitivo por su velocidad es, naturalmente, el viento. «Tan rápido como el viento» es sólo un clisé común.

La velocidad del viento es particularmente notable durante las tormentas (por ejemplo, un huracán o ciclón se define como un viento asociado que supera los 120 kilómetros por hora, ó 33,5 metros por segundo). El viento más fuerte registrado durante un huracán alcanzó los 317 kilómetros por hora (88 metros por segundo).

Los vientos más rápidos son los que forman remolinos en un tornado. Se han registrado vientos de 480 kilómetros por hora (134 metros por segundo), lo cual rebasa la velocidad del halcón buceador.

Los vientos tienden a ser más rápidos en las mayores elevaciones, donde el aire es menos denso y resistente, y se debe mover una masa de gas más pequeña. En la cumbre del monte Washington, se ha informado de vientos de 372 kilómetros por hora (103 metros por segundo). En la *jet stream* (o corriente en chorro), fuerte corriente que rodea la Tierra a unos 45 kilómetros por encima de la superficie, se ha registrado una velocidad del viento de 656 kilómetros por hora (182 metros por segundo), o sea, más rápido aún que el viento en un tornado.

«Tan rápido como el viento» se aplica, incluso a niveles de tornado, al transporte humano motorizado terrestre. Los automóviles de pasajeros pueden alcanzar velocidades de hasta 310 kilómetros por hora (87 metros por segundo). En Francia hay trenes que se deslizan sobre carriles tradicionales, y que alcanzan velocidades de 380 kilómetros por hora (107 metros por segundo). En Japón se han llevado a cabo experimentos con monorraíles, en que los vagones levitan magnéticamente, por lo cual no establecen ningún contacto sólido-sólido y la fricción alcanza niveles muy bajos. En este caso se consiguen velocidades de hasta 515 kilómetros por hora (140 metros por segundo), y los pasajeros viajan aún más de prisa que el viento de un tornado.

En el aire, el helicóptero más rápido puede alcanzar una velocidad de 368 kilómetros por hora (102 metros por segundo).

ESCALÓN 6

316 metros por segundo ($10^{2,5}$ m/s)
1 140 kilómetros por hora ($10^{3,05}$ km/h)

Antes de la Segunda Guerra Mundial, los medios más rápidos de transporte humano eran, en tierra, los automóviles con motores de pistones, y en aire, los aeroplanos impulsados por hélices.

Con las mejoras modernas, los automóviles con motores de pistones han alcanzado velocidades punta de 673 kilómetros por hora (187 metros por segundo).

El récord del avión impulsado por hélices es de 878 kilómetros por hora (244 metros por segundo), o sea, 2 1/4 veces más de prisa que un halcón buceador, lo cual significa que el hombre vuela más deprisa que las aves y que, por tanto, es la cosa viviente más rápida.

Sin embargo, hasta los aviones más veloces impulsados por hélices llegan a cifras sólo de las tres cuartas partes del nivel de velocidad del Escalón 6. Para alcanzar dicho nivel hemos de recurrir a los reactores y cohetes, desarrollados ya durante la Segunda Guerra Mundial. Por ejemplo, los vehículos terrestres con motores de cohete han alcanzado la velocidad de 1 190 kilómetros por hora (330 metros por segundo), lo cual está más allá del nivel de velocidad del Escalón 6.

La velocidad del sonido a través del aire, en las condiciones de la superficie de la Tierra, es de 1 195 kilómetros por hora (332 metros por segundo). El vehículo terrestre con motores de cohete, al que ya nos hemos referido, avanza casi a la velocidad del sonido y, por tanto, se mueve a «Mach 1» (llamado así en honor de Ernst Mach, físico austríaco).

A este nivel podemos captar también algo astronómico. Esto no equivale a negar que algunas velocidades astronómicas sean del todo corrientes. Por ejemplo. Venus rota sobre su eje tan lentamente, en relación con las estrellas, que un punto en su ecuador se mueve a 6,5 kilómetros por hora, o sea, una velocidad no superior a la de un paseo brioso. Y algunos lugares de la superficie se mueven incluso con mayor lentitud.

Sin embargo, nos interesan velocidades astronómicas que sean más rápidas que las velocidades familiares de la Tierra e incluso con la mayor parte de la tecnología humana. Así, un punto del ecuador de Marte se mueve a una velocidad de 870 kilómetros por hora (241 metros por segundo), o sea, casi la velocidad alcanzada por el más rápido de los aviones impulsado por hélice.

La Tierra gira sobre su eje algo más de prisa que Marte, pero nuestro planeta es considerablemente mayor, por lo cual un punto del ecuador de la Tierra viajará mucho más de prisa que otro del ecuador de Marte, para abrirse camino en torno a un círculo mayor en el mismo tiempo. La velocidad ecuatorial de la Tierra es de 1 680 kilómetros por hora (467 metros por segundo), lo cual está por encima del nivel del Escalón 6.

La velocidad ecuatorial de la Tierra es más rápida que el sonido, tanto, que llega al Mach 1,4. Sabemos que si se avanza más de prisa que el sonido, se produce un estallido sónico, y tal vez sorprenda que la rotación de la Tierra no origine una cosa así. No obstante, el estallido sónico se produce cuando las velocidades más rápidas que el sonido se relacionan con el aire. La rotación de la Tierra *transporta consigo el aire*, por lo cual la velocidad rotativa del ecuador terrestre respecto al aire es cero (excepto por el aire que pueda existir).

ESCALÓN 7
1 000 metros por segundo (10^3 m/s)
1 kilómetro por segundo (10^0 km/s)

En este estadio abandono los kilómetros por hora como unidad. Kilómetros por segundo es algo mucho más espectacular, y más estrictamente apropiado desde el punto de vista de la versión SI del sistema métrico.

Así, la velocidad máxima conseguida por un avión reactor (en 1976) es de 0,9802 kilómetros por segundo, casi tres veces la del sonido (Mach 3), y muy cerca del nivel de velocidad del Escalón 7. Un objeto sobre raíles y con motor de cohete más rápido ha conseguido una velocidad de 1,38 kilómetros por segundo (Mach 4,15).

La velocidad orbital de la Luna en torno a la Tierra es, en promedio, de 1,02 kilómetros por segundo. La de Deimos alrededor de Marte es de 1,17 kilómetros por segundo. Deimos está considerablemente más cerca de Marte que la Luna respecto a la Tierra, por lo cual, y a igualdad de todas las cosas, debería experimentar una atracción gravitatoria más fuerte. Sin embargo, no todas las cosas son iguales. Marte es más pequeño que la Tierra y tiene un campo gravitatorio menor. La mayor proximidad de Deimos a su planeta queda contrarrestada por el menor tamaño del planeta.

ESCALÓN 8

3 160 metros por segundo ($10^{3,5}$ m/s)
3,16 kilómetros por segundo ($10^{0,5}$ km/s)

Nos hallamos ahora más allá de los niveles de velocidad de los vehículos humanos, con excepción de los navíos espaciales, y, por tanto, habremos de limitarnos a éstos y a los fenómenos astronómicos.

La velocidad orbital de Fobos, el más interior de los dos satélites de Marte, es de 2,13 kilómetros por segundo.

Fobos está muy cerca de Marte, mientras que el planeta Plutón es el más alejado del Sol de todos los planetas conocidos. Sin embargo, el campo gravitatorio del Sol es tan enorme, comparado con el de Marte, que Plutón se mueve a una velocidad orbital más rápida respecto al Sol, que Fobos respecto a Marte. La velocidad orbital media de Plutón es de 4,7 kilómetros por segundo.

La velocidad de escape es la que debe alcanzar un objeto para alejarse indefinidamente de un cuerpo venciendo la fuerza gravitatoria de éste. Es también la velocidad máxima conseguida por un objeto que cae sobre la superficie de un mundo, desde una posición de inercia.

Así, la velocidad de escape desde la Luna es de 2,38 kilómetros por segundo, mientras que la de Ganimedes, el satélite mayor conocido, es de 2,75 kilómetros por segundo; en cuanto a Mercurio, planeta más pequeño pero más masivo que Ganimedes, es de 4,2 kilómetros por segundo.

ESCALÓN 9

10 000 metros por segundo (10^4 m/s)
10 kilómetros por segundo (10^1 km/s)

La velocidad de escape de la Tierra es de 11,3 kilómetros por segundo. La velocidad mínima requerida para mantener una órbita en torno de la Tierra, algo más allá de su atmósfera, es su velocidad de escape dividida por la raíz cuadrada de 2 (que es 1,414...). Por tanto, la velocidad mínima orbital de un objeto en una órbita próxima en torno de la Tierra es de 8 kilómetros por segundo. Así, Yuri Gagarin, el primer hombre que orbitó la Tierra en un ingenio espacial, alcanzó una velocidad máxima de 8,05 kilómetros por segundo, y viajó 8,2 veces más de prisa que el más veloz avión reactor. Sin embargo, se halla sólo a las cuatro quintas partes de camino del nivel de velocidad correspondiente al Escalón 9.

Velocidades mayores desarrollan los vehículos que transportan hombres a la Luna, que han alcanzado los 11,1 kilómetros por segundo. Esto se halla algo más allá del nivel de velocidad del Escalón 9, y constituye la mayor velocidad a la que hasta ahora ha conseguido viajar el hombre. Esto corresponde, *grosso modo,* a una velocidad 100 veces superior que cualquier cosa viviente no humana movida por su propia fuerza.

A medida que aumenta la masa del cuerpo central, la órbita se acelera, permaneciendo iguales las demás cosas. Así, es muy probable que los satélites de Saturno y de Júpiter se muevan con mayor rapidez que los de Marte y de la Tierra. Dione gira en torno a Saturno a una velocidad orbital de 10,0 kilómetros por segundo, mientras Ganimedes se mueve alrededor de Júpiter a 10,9 kilómetros por segundo.

Saturno se despieza en torno al Sol a una velocidad orbital media de unos 9,6 kilómetros por segundo.

Saturno y Júpiter, aunque son los mayores planetas, tienen unos períodos más cortos de rotación. Por tanto, las velocidades ecuatoriales de los dos planetas son mucho más rápidas que los de la Tierra: 10,3 kilómetros por segundo para Saturno y 12,5 para Júpiter. Júpiter es el planeta de velocidad ecuatorial más rápida.

ESCALÓN 10

31 600 metros por segundo ($10^{4,5}$ m/s)
31,6 kilómetros por segundo ($10^{1,5}$ km/s)

Al llegar aquí nos encontramos ya a un nivel de velocidad que se aproxima al límite de las velocidades orbitales de los satélites. Las partículas más interiores de los anillos de Saturno visibles desde la Tierra giran en torno al planeta a unas velocidades de 22,2 kilómetros por segundo. Amaltea, el satélite más interior de Júpiter (de los visibles desde la Tierra) tiene una velocidad orbital de 27,8 kilómetros por segundo. Si hubiéramos de considerar un objeto que orbitara exactamente en el exterior de la atmósfera de Saturno, se movería a una velocidad orbital de 25 kilómetros por segundo. Un objeto que girase exactamente en el exterior de la atmósfera de Júpiter tendría una velocidad orbital de 43 kilómetros por segundo, lo cual lo convertiría en el único planeta con un satélite que se moviera a una velocidad orbital superior al nivel de velocidad del Escalón 10.

En cuanto a velocidades orbitales planetarias, la de la Tierra en torno del Sol es de 29,8 kilómetros por segundo, y la de Venus de 35,1 kilómetros. Ambas se aproximan también a un nivel superior.

Haremos lo mismo con las velocidades planetarias de escape. La velocidad de escape desde Saturno (a partir del nivel visible de su capa de nubes) es de 35,2 kilómetros por segundo.

ESCALÓN 11

100 000 metros por segundo (10^5 m/s)
100 kilómetros por segundo (10^2 km/s)

A este nivel nos encontramos ya más allá de las velocidades planetarias de cualquier clase. Incluso Mercurio, en el momento de mayor proximidad al Sol, se mueve a una velocidad orbital de sólo 56 kilómetros por segundo. Ícaro —pequeño asteroide que se acerca al Sol más que Mercurio— puede alcanzar los 70 kilómetros por segundo. Algunos cometas se acercan al Sol aún más que Ícaro, y el más próximo —tanto, que

casi rozó la superficie del Sol en 1963— puede alcanzar una velocidad de 100 kilómetros por segundo.

En cuanto a las velocidades de escape planetarias, la mayor es la de Júpiter, a partir de su superficie visible, rodeada de nubes, y es de sólo 60,5 kilómetros por segundo.

El cohete más rápido lanzado por el hombre es el «Helios B», que alcanzó una velocidad de 66,65 kilómetros por segundo, en relación con la Tierra.

Ahora podemos movernos ya a velocidades estelares. Lacaille 9352, estrella de nuestra Galaxia, avanza a una velocidad de 119 kilómetros por segundo en relación con el Sol.

ESCALÓN 12

316 000 metros por segundo ($10^{5,5}$ m/s)
316 kilómetros por segundo ($10^{2,5}$ km/s)

La estrella más cercana y de movimiento más rápido (en relación con el Sol) es la Kapteyn, que se encuentra a 13 años-luz de nosotros. Avanza a una velocidad de 294 kilómetros por segundo.

Tanto el Sol como la estrella Kapteyn —y todas las demás estrellas cercanas al Sol y, en general, en las afueras de la Galaxia— avanzan describiendo órbitas en torno al centro de la Galaxia. Las órbitas son excéntricas, inclinadas varios grados hacia el plano de la Galaxia. Gracias a esas diferencias orbitales, las estrellas individuales muestran un movimiento de unas respecto a las otras, aunque todas, en conjunto, giren en torno al centro galáctico. El Sol se mueve alrededor del centro galáctico en una órbita casi circular, a unos 220 kilómetros por segundo.

ESCALÓN 13

1 000 000 de metros por segundo (10^6 m/s)
1 megámetro por segundo (10^0 Mm/s)

La única velocidad conectada con el Sistema Solar que se aproxima al nivel del Escalón 13 es la velocidad de escape desde la superficie visible del Sol. Es de 0,617 megámetros por segundo.

Las estrellas corrientes de secuencia principal más masivas que el Sol podrían tener una mayor velocidad de escape, aunque no mucho más grande. La masa adicional aumenta la velocidad de escape, pero esas estrellas tan masivas son también más voluminosas, y cuanto mayor sea la distancia de la superficie de la estrella a partir del centro, tanto menor será la velocidad de escape. Algunas estrellas pueden poseer velocidades de escape de 0,825 megámetros por segundo, pero es dudoso que alguna de ellas alcance el nivel de velocidad del Escalón 13.

Sin embargo, podemos llegar a ese nivel volviendo a las velocidades de rotación, aunque no en nuestro Sistema Solar. Un punto del ecuador de la estrella neutrónica —en el interior de la nebulosa del Cangrejo— desarrolla la rotación más rápida conocida, y avanza a una velocidad de 1,33 megámetros por segundo.

ESCALÓN 14

3 160 000 metros por segundo ($10^{6,5}$ m/s)
3,16 megámetros por segundo ($10^{0,5}$ Mm/s)

El Universo está en expansión, lo cual significa que las distantes galaxias se van alejando de nosotros. Y, lo que es más, dado que todo el Universo se halla en expansión, la velocidad de tales retrocesos, respecto a nosotros, es acumulativa. Cuanto más lejos se encuentra una galaxia de nosotros, más de prisa parece que retroceda.

Se calcula que por cada incremento de un millón de parsecs en distancia, se da un incremento de 50 kilómetros por segundo en velocidad de retroceso. Esto significa que una galaxia que se encuentre a 63 millones de parsecs de nosotros (90 veces más alejada que la relativamente cercana galaxia de Andrómeda), se alejará de nosotros a una velocidad de 3,16 megámetros por segundo.

ESCALÓN 15

10 000 000 de metros por segundo (10^{7} m/s)
10 megámetros por segundo (10^{1} Mm/s)

Aunque las estrellas de secuencia principal no se mueven a velocidades de escape que estén dentro del ámbito del megámetro por segundo, lo hacen las estrellas que se colapsan. Una enana blanca puede tener una masa tan grande como la de nuestro Sol y, sin embargo, poseer un diámetro no mucho mayor que el de un planeta pequeño. Por tanto, el campo gravitatorio es mucho más intenso en la superficie de una enana blanca que en la superficie de una estrella como nuestro Sol, puesto que la superficie de la enana blanca está mucho más cerca de su núcleo que en el Sol. Así, Sirio B, con una masa igual a 1,05 veces la del Sol y un diámetro de 11,1 megámetros (menos que el de la Tierra, y sólo 1/125 respecto al del Sol) tiene una velocidad de escape de unos 7 megámetros por segundo.

Una galaxia a 200 millones de parsecs de nosotros retrocedería a unos 10 megámetros por segundo. Se hallaría tan lejos de nosotros, que sólo sería visible con los más potentes telescopios luminosos.

Sigamos con los objetos más cercanos a nosotros. Cuando se descubrió la radiactividad, en los años 1890, se observó que sustancias como el uranio y el torio emitían radiaciones. Se comprobó que parte de esta radiación, llamada «rayos alfa», estaba formada por unas muy energéticas «partículas alfa», las cuales, a su vez, eran los núcleos de átomos de helio.

Esas partículas eran tan energéticas, que se movían a enormes velocidades, más allá de cualquier otra que se hubiese observado hasta entonces. Incluso una relativamente lenta partícula alfa tendría unos 14 megámetros por segundo de velocidad al emerger de una sustancia radiactiva.

ESCALÓN 16

31 600 000 metros por segundo ($10^{7,5}$ m/s)
31,6 megámetros por segundo ($10^{1,5}$ Mm/s)

Algunas partículas alfa especialmente energéticas aceleran hasta alcanzar los 22 megámetros por segundo. Los objetos distantes de nosotros unos 600 millones de parsecs retroceden a una velocidad de 30 megámetros por segundo, más o menos. Las

galaxias corrientes no son visibles a tales distancias, cosa que sólo ocurre con los quasars.

ESCALÓN 17
100 000 000 de metros por segundo (10^8 m/s)
100 megámetros por segundo (10^2 Mm/s)

Los quasars distantes de nosotros más de mil millones de parsecs retroceden a una velocidad de 100 megámetros por segundo, e incluso más.

Algunas sustancias radiactivas emiten partículas beta (electrones acelerados) 1/7 300 más masivos que las alfa y, por tanto, pueden acelerarse hasta alcanzar unas velocidades mucho más elevadas a través de la energía disponible en las descomposiciones radiactivas. Incluso las relativamente lentas partículas beta viajan a unos 160 megámetros por segundo.

La velocidad de escape de una estrella neutrónica —que almacena toda la masa de una estrella ordinaria como el Sol en un pequeño globo, tal vez de sólo 14 kilómetros de diámetro— es de unos 200 megámetros por segundo.

La luz viaja a una velocidad que depende del índice de refracción del material a cuyo través cruza. El diamante tiene un comparativamente elevado índice de refracción (según la manera en que brilla y muestra los colores, cuando está tallado de la forma adecuada y se mantiene en variados ángulos). La luz que viaja a través del diamante se mueve a una velocidad de 124 megámetros por segundo.

ESCALÓN 18
316 000 000 de metros por segundo ($10^{8,5}$ m/s)
316 megámetros por segundo ($10^{2,5}$ Mm/s)

La luz se mueve a su máxima velocidad cuando viaja a través del vacío. Su velocidad es entonces algo inferior a los 300 megámetros por segundo, o muy cerca de la distancia del Escalón 18.

Hoy se halla bien establecido que no hay nada que viaje más rápidamente que la luz en el vacío, por lo cual parecería inalcanzable para siempre una auténtica velocidad del Escalón 18. (Se ha especulado respecto a que hay partículas —llamadas «taquiones», de una voz griega que significa «rápido»— que pueden moverse aún más de prisa que la luz y acelerar hasta el infinito. Sin embargo, tales partículas no han sido detectadas aún, y muy pocos científicos creen que existan.)

Los quasars más alejados que se conocen se alejan de nosotros a velocidades de 270 megámetros por segundo, más o menos; y las más energéticas partículas subatómicas que conocemos pueden alcanzar una velocidad aproximada de 290 megámetros por segundo, pero por mucho que tales objetos puedan aproximarse a la velocidad de la luz, nunca la alcanzarán y, mucho menos, la rebasarán.

Cualesquiera partículas, aparte los protones —las partículas fundamentales de la luz y de otra radiación electromagnética— que, como los fotones, tengan una masa de inercia cero —cual los gravitones y los neutrinos— viajarían también a la velocidad de la luz.

Así, en 17 escalones, que han cubierto ocho órdenes y medio de magnitud, hemos avanzado desde la velocidad de un tranquilo paseo humano, hasta la mayor velocidad de la luz en el vacío.

LA ESCALERA DE LA VELOCIDAD HACIA ABAJO

ESCALÓN 1
1 metro por segundo (10^0 m/s)

Hemos regresado al metro por segundo, o sea, la velocidad de un paseo humano.

En su mayor parte, las velocidades astronómicas (en relación con algún punto de referencia adecuado, son superiores a éstos). Pero existen otras tan lentas e incluso más.

Así, el planeta de rotación más lenta es Venus. Describe una vuelta en torno a su eje, respecto a las estrellas, en 243,09 días terrestres. Esto significa que un punto de su ecuador se mueve sólo a 1,82 metros por segundo. Correspondería a un paseo algo animado.

Si nos encontráramos en el ecuador de Venus, y pudiésemos soportar las horribles condiciones que se dan en su superficie y ver a través de sus nubes, comprobaríamos que las estrellas tardan 121,54 días en atravesar el firmamento desde la salida hasta el ocaso. Si marchásemos a buen paso en dirección opuesta hacia la que rota Venus, anularíamos el movimiento de las estrellas. Una estrella que estuviese sobre nosotros permanecería en el mismo sitio durante el tiempo que marchásemos a paso vivo. (Al decir esto, ignoro el efecto de la revolución de Venus en torno al Sol.)

Sin embargo, ésta es la velocidad de rotación del ecuador venusiano, porque cuando se avanza hacia el Norte o hacia el Sur desde el ecuador, la superficie describe unos círculos más pequeños al rotar, aunque tarda el mismo tiempo al hacerlo y, por lo tanto, se mueve más lentamente. A una latitud de 57,5° Norte (o Sur), la velocidad de rotación en Venus sería casi exactamente 1 metro por segundo. Más al Norte (o al Sur), sería aún más lenta.

Lo mismo podemos decir de cualquier cuerpo en rotación. En la Tierra, que gira sobre sí misma con mucha mayor rapidez que Venus, un lugar que se encuentre a 12 kilómetros del Polo Norte (o del Sur) girará respecto al eje de la Tierra, a una velocidad de sólo 1 metro por segundo.

ESCALÓN 2
0,316 metros por segundo ($10^{-0,5}$ m/s)
3,16 decímetros por segundo ($10^{0,5}$ dm/s)

De la misma forma que unos animales pueden moverse con mayor rapidez que el hombre, otros se mueven más lentamente, aun cuando parezca que lo hacen con rapidez.

Por ejemplo, un ciempiés, tal vez parezca que se mueve con rapidez, aun cuando resbale, con todas sus patas en movimiento y cubriendo en poco tiempo una distancia igual a la de su propio cuerpo (aparte el hecho de que se oculta entre los arbustos, por lo cual parece perderse de vista en poco tiempo). Sin embargo, se ha comprobado que se mueve sólo a 5 decímetros por segundo, o sea, menos de la tercera parte de la velocidad de un animado paseo humano.

ESCALÓN 3
0,1 metros por segundo (10^{-1} m/s)
1 decímetro por segundo (10^{0} dm/s)

Es proverbial la lentitud de la tortuga (hasta el punto de haber sido elegida como uno de los contendientes en la famosa fábula de la tortuga y la liebre). Aparentemente, la tortuga gigante de las islas Galápagos, sólo puede avanzar a 0,75 decímetros por segundo. En otras palabras, en una hora puede avanzar 3 1/3 manzanas de casas si mantiene durante ese tiempo su velocidad suicida en línea recta.

Un perezoso tridáctilo, el más lento de los mamíferos (aunque su nombre no sea adecuado, porque se mueve tan lentamente no por pereza, sino por su incapacidad de avanzar con mayor rapidez), progresa a lo largo de las ramas de los árboles (colgado cabeza abajo), como máximo a la velocidad que damos en esta sección.

ESCALÓN 4
0,031 6 metros por segundo ($10^{-1,5}$ m/s)
3,16 centímetros por segundo ($10^{0,5}$ cm/s)

El perezoso de tres dedos se halla en su elemento en los árboles, y por lento que sea, se mueve con gran rapidez. En cambio, en el suelo se desplaza con lentitud. Al parecer, no puede avanzar a más de 4,5 centímetros por segundo, es decir, 2 manzanas de casas por hora.

ESCALÓN 5
0,01 metros por segundo (10^{-2} m/s)
1 centímetro por segundo (10^{0} cm/s)

Otra criatura bien conocida por su lentitud es el caracol, que se desliza lentamente sobre su «pie», a una velocidad no superior a los 1,35 centímetros por segundo. Un caracol, en «competición» con otros, tardaría dos horas en recorrer la distancia de una manzana de casas.

Por lo general, los organismos vivientes capaces de moverse pueden avanzar voluntariamente a cualquier velocidad inferior a su máximo, hasta alcanzar la inmovilidad total. Sería poco interesante citarlos en la escalera de la velocidad hacia abajo. Permítasenos más bien cambiar a algunas cuantas clases de movimientos inanimados que implican fenómenos familiares, saltándonos los escalones que sean necesarios.

ESCALÓN 7
0,001 metros por segundo (10^{-3} m/s)
1 milímetro por segundo (10^{0} mm/s)

En la mayor parte de las orillas del mundo, el agua sube y baja dos veces al día. Tal cambio del nivel de las aguas se llama «mareas», fenómeno que depende del hecho de que la Luna (y, en menor grado, el Sol), ejerce una mayor atracción gravitatoria en el lado de la Tierra con el que se encara, que en el opuesto. Así, la Tierra se estira en línea con la Luna, y el agua del océano se pandea a cada lado. Cuando gira la Tierra, todos los puntos de su superficie pasan a través de ese abultamiento cada medio día.

La altura a la que el agua sube y baja difiere de un lugar a otro, según la forma de la línea costera, las posiciones relativas de la Luna y el Sol, etcétera. Las mayores mareas se producen en la bahía de Fundy, que se encuentra entre las provincias canadienses de Nueva Escocia y Nueva Brunswick. Dicha bahía tiene forma de embudo, por lo cual, cuando avanza la marea, las aguas se comprimen entre sus firmes y unidos extremos y tienden a acumularse.

En tal bahía, la diferencia extrema entre la marea alta y la baja, es de 16,3 metros. El agua se mueve desde la marea baja a la alta (o viceversa) en unas 6 horas y 12 minutos. Ello significa que la velocidad media de ascensión o caída del nivel del agua en tal bahía es de unos 0,73 milímetros por segundo. A mitad de camino entre la marea baja y la alta, el nivel del agua cambia con mayor rapidez y puede alcanzar la velocidad de 1 milímetro por segundo.

Esto representaría el más rápido movimiento de mareas *vertical.* Naturalmente, mientras sube el nivel, el agua avanza hacia la tierra por la inclinada orilla a mucha mayor velocidad, la cual depende de la inclinación de la orilla.

ESCALÓN 8

0,000 316 metros por segundo ($10^{-3,5}$ m/s)
316 micrómetros por segundo ($10^{2,5}$ µm/s)

Los glaciares son grandes ríos de hielo que bajan muy lentamente de las montañas a los valles. El hielo se deforma bajo la presión de su propio peso cuando se presenta en una gran masa, y, como resultado, se extiende hacia fuera y hacia dentro. La velocidad de tal extensión dependerá de la altura, temperatura, etcétera, pero siempre será muy lenta.

Un glaciar de Groenlandia tal vez sea el más rápido que se conoce, y su movimiento es a veces hasta de 280 micrómetros por segundo. Esto significa que, en un día en que alcance y sostenga su mayor rapidez, dicho glaciar recorrerá aproximadamente la distancia de una manzana de casas.

ESCALÓN 18

0,000 000 003 16 metros por segundo ($10^{-8,5}$ m/s)
3,16 nanómetros por segundo ($10^{0,5}$ nm/s)

Como sabemos, el pelo crece continuamente. No lo hace muy de prisa, desde luego, pero en 24 horas el de la barba crece lo suficiente como para que se vea si no se corta antes, y en cinco o seis horas crece ya lo bastante como para ser desagradablemente áspero al tacto.

El pelo del cuerpo que crece más rápidamente puede hacerlo a una velocidad de hasta 4,3 nanómetros por segundo. Esto equivale a las tres octavas partes de un milímetro por día. En 7 3/8 años, un mechón de pelo (si no se cae entretanto, lo cual es casi seguro), habría crecido, en esta proporción, hasta alcanzar 1 metro de longitud.

ESCALÓN 19
0,000 000 001 metros por segundo (10^{-9} m/s)
1 nanómetro por segundo (10^{0} nm/s)

La corteza terrestre está quebrada por media docena de grandes placas, más cierto número de otras más pequeñas, que se mueven muy despacio unas respecto a otras. Esas placas en movimiento separan masas de tierra, o derivan unas hacia otras. Al separarse tales masas puede aparecer un amplio océano entre ellas, y si se aproximan, se formaría una cordillera montañosa en los límites de la colisión.

Pero tales movimientos son muy lentos. Así, Sudamérica y África se van separando, y el océano Atlántico ensanchando a una velocidad calculada en 1,25 nanómetros por segundo. A tal velocidad, en un año el océano Atlántico se ensancharía 4 centímetros.

Así, pues, también a causa de la fricción, las mareas gastan energía en ascender y descender por las líneas costeras. Esta fricción de las mareas es superada por la energía rotatoria de la Tierra, por lo cual el índice de rotación terrestre se va enlenteciendo de una forma en extremo pausada. A su vez, esto significa que la Tierra va perdiendo algo de su inercia angular.

En realidad, la inercia angular no puede perderse; sino sólo transferirse, en ese caso, a la inercia angular de la revolución a medida que la Tierra y la Luna giran en torno a un centro común de gravedad. Para que aumente la inercia angular de revolución y disminuya la inercia angular de la rotación terrestre, la Luna debe moverse y alejarse cada vez más de la Tierra.

Se ha calculado que la proporción a la que retrocede la Luna respecto a la Tierra, es de 1 nanómetro por segundo, aproximadamente. Esto significa que, en el espacio de 1 año, la Luna se aleja de la Tierra 3,15 centímetros.

Y en este punto hemos de detener nuestro descenso, puesto que más abajo no queda ya nada de interés.

LA ESCALERA DE LA TEMPERATURA HACIA ARRIBA

ESCALÓN 1
1 grado Celsius (10^0 °C)
274,14 kelvin ($10^{2,438}$ K)

La medición más corriente que podemos hacer y que no implica longitud, ni masa, ni tiempo, es la de la temperatura.

La temperatura es la medición de la energía promedia del movimiento que tiene cada partícula de una masa. También podemos decir que es la medición de la intensidad del calor de una masa.

Un objeto determinado puede tener una gran cantidad de calor a baja temperatura, o una relativamente pequeña cantidad del mismo a elevada temperatura. Así, podemos considerar una cabeza de clavo al rojo y una tonelada de arena, con una mucho mayor cantidad de calor en conjunto pero que, por su volumen, está simplemente templada. Esto es análogo a la manera en que se desarrollan en una pequeña charca con agua de unos quince metros de profundidad, por ejemplo, y un gran lago con una cantidad mucho mayor de agua en conjunto, pero cuya profundidad no sea superior en ninguna parte a los cinco metros.

La energía fluye en forma de calor, desde un cuerpo a mayor temperatura, a otro a menor temperatura, sin tener en cuenta el calor total presente en uno y otro cuerpos. Si se toca una cabeza de clavo al rojo, el calor fluirá desde el clavo hasta la parte del cuerpo que lo toca, aunque el cuerpo, en conjunto, contenga más calor que el clavo. En tal caso habrá un ascenso de temperatura en la parte del cuerpo que entra en contacto con el clavo, y se sentirá dolor.

La temperatura, para las cosas diarias, se mide por medio de un termómetro, basado en la expansión de una pequeña columna de mercurio a medida que aumenta la temperatura, o en su contracción, a medida que baja la misma.

Un físico sueco, Anders Celsius, ideó una escala para representar la temperatura. La altura de la columna de mercurio a la temperatura en que se enfría el agua hasta convertirse en hielo (o en hielo fundido con agua), en condiciones ordinarias, la señaló y estableció como igual a 0. Y la temperatura en que el agua hierve hasta convertirse en vapor (o en vapor condensado con agua), en condiciones ordinarias, la fijó como equivalente a 100. Las temperaturas intermedias fueron divididas en cien partes iguales, o «grados» (de la voz latina que significa «descender», es decir, ir de 100 a 0). Originariamente se llamó «escala centígrada» (de una voz latina que significa «un centenar de escalones»), por lo cual se decía que una temperatura tenía un número particular de «grados centígrados». Esto se simbolizó por °C. Hace un par de décadas, el nombre de dicha escala se cambió por el de «escala Celsius», en honor a su inventor, y, así, ahora hablamos de «grados Celsius». El símbolo sigue siendo el mismo.

La escala Celsius se usa hoy en todo el mundo, excepto —como tal vez era de esperar— en Estados Unidos, donde se emplea una antigua escala inventada por un físico germanoholandés, Gabriel Daniel Fahrenheit. En la «escala Fahrenheit» el punto de congelación del agua se establece en 32, y el punto de ebullición en 212, por lo que

entre ambos puntos hay 180 grados. En la escala Fahrenheit, las temperaturas se miden como tantos «grados Fahrenheit», y se simbolizan por °F.

No resulta difícil convertir grados Celsius en Fahrenheit, o viceversa, por lo cual daré los equivalentes Fahrenheit cuando me parezca aconsejable. Sin embargo, en general, emplearemos los grados Celsius, al menos para las temperaturas corrientes.

Como es natural, si la temperatura es más baja que el punto de congelación del agua, emplearemos valores negativos, como «diez grados bajo cero Celsius», o -10 °C. En la escala Fahrenheit se puede llegar por debajo de la temperatura de congelación del agua (32 grados Fahrenheit) y seguir teniendo valores positivos. Se han de alcanzar los -17,78 °C para llegar a los 0 grados Fahrenheit, pero, a temperaturas aún más bajas, la escala Fahrenheit ha de recurrir también a los números negativos.

Si la temperatura sigue bajando, también bajará el promedio de energía contenido en cada partícula, y es de suponer que si la temperatura desciende lo suficiente, la energía contenida caerá a cero. Si el lector lo supone así, está en lo cierto. Pero tampoco se debe llegar muy lejos. La temperatura a la que ya no puede retirarse más energía de la materia es la de -273,15 grados Celsius (ó -459,67 grados Fahrenheit). Esta temperatura se llama «cero absoluto».

William Thomson (Lord Kelvin) sugirió una escala de temperatura que empleaba grados Celsius, aunque empezando en el cero absoluto. Contando hacia arriba a partir del cero absoluto, llegamos a los 273,15 grados por encima del cero absoluto, es decir, 273,15 grados Kelvin. El nombre de Kelvin no se da en mayúsculas en el sistema SI, pero su símbolo es K, por lo cual se dice 273,15 K. En este caso no se emplea el símbolo de grado (°).

La escala Kelvin es oficial en la versión SI, por ser la más conveniente para los científicos, cuyo uso simplificaría para ellos las relaciones físicas y químicas. La escala Celsius se permite también en los usos ordinarios.

En el Escalón 1 empezamos con 1 grado Celsius, más bien que con 0 grados Celsius, porque no se puede multiplicar o dividir cero por 3,16, lo cual nos daría siempre cero como respuesta.

Una temperatura de 1 grado Celsius (ó 33,8 grados Fahrenheit) es muy familiar en cualquiera de las zonas templadas del mundo. Generalmente la atmósfera se encuentra a esa temperatura en algún momento durante un día invernal corriente, como, por ejemplo, en Nueva York.

ESCALÓN 2
3,16 grados Celsius ($10^{0,5}$ °C)
276,31 Kelvin ($10^{2,441}$ K)

El hielo es menos denso que el agua en estado líquido. Dado que el hielo está compuesto por las mismas moléculas que el agua, las moléculas del hielo se encuentran más libremente organizadas que en el agua, más ampliamente esparcidas por término medio.

Cuando el hielo se funde, las moléculas adoptan una disposición más compacta y aumenta la densidad. Sin embargo, hay alguna «calidad de hielo» en la disposición, por así decirlo. A medida que aumenta la temperatura, disminuye la calidad de hielo mientras que sigue creciendo ligeramente la densidad.

No obstante, un ascenso de temperatura confiere más energía a las moléculas de agua, por lo cual se mueven con mayor rapidez y se empujan unas a las otras para

separarse. Esto tiende a hacer disminuir la densidad. Llegado el momento, la tendencia que tiene la temperatura ascendente a disminuir la densidad, rebasa el efecto que tiende a hacer desaparecer la calidad de hielo al aumentar la densidad.

A los 3,98 grados Celsius de temperatura —aproximadamente, el nivel de temperatura del Escalón 2—, el último se apodera del primero, y el agua alcanza su máximo de densidad en las condiciones de la superficie terrestre.

Se trata de un hecho que tiene la mayor importancia para la vida. En las partes de la Tierra en que las condiciones invernales hacen descender la temperatura hasta el punto de congelación del agua, las aguas superficiales en ríos, charcas, lagos y hasta en el océano, bajan de temperatura y crecen más en densidad que el agua de abajo. Las aguas superficiales se hunden y son remplazadas por las más cálidas y menos densas de abajo, las cuales, a su vez, se enfrían y empiezan a hundirse.

Finalmente, toda el agua alcanza una temperatura de 3,98 grados Celsius. Cuando se enfría el agua de la superficie por debajo de dicha temperatura, decrece poco en densidad, y no se hunde. Así, sólo se hiela el agua de la superficie, y entonces el hielo, al ser aún menos denso, flota hasta formar una sólida capa, aislando al agua de debajo. Por esta razón, las grandes masas de agua no se hielan hasta formar cuerpos sólidos, ni siquiera en los inviernos desacostumbradamente fríos.

ESCALÓN 3

10 grados Celsius (10^{1} °C)
283,16 kelvin ($10^{2,452}$ K)

Los usuales prefijos métricos no se emplean en la medición de temperaturas, por lo cual no se habla de «decagrado», ni de «kilogrado», ni, por ejemplo, de «miligrado». Simplemente, se habla, al nivel de temperatura del Escalón 3, de 10 grados Celsius.

Esto es el equivalente de 50 grados Fahrenheit, o sea, la temperatura que se alcanza un día primaveral en Nueva York, temperatura lo suficientemente benigna después del frío invernal, aunque parezca algo gélida si se presenta a comienzos del otoño, tras el calor del verano.

La temperatura media en la superficie de la Tierra, día y noche, invierno y verano, regiones polares y trópicos, es de unos 14 grados Celsius (ó 57 grados Fahrenheit), aunque hay unos cuantos lugares en que no son mucho más elevadas, ni más bajas, lo cual ocurre durante la mayor parte del tiempo.

ESCALÓN 4

31,6 grados Celsius ($10^{1,5}$ °C)
304,75 kelvin ($10^{2,484}$ K)

El nivel de temperatura del Escalón 4 equivale a casi unos 98 grados Fahrenheit, temperatura que puede darse un día de verano en Nueva York.

La temperatura normal del cuerpo humano es de 37 grados Celsius (ó 98,6 grados Fahrenheit). Las reacciones químicas que se desarrollan permanentemente en el interior del cuerpo humano producen calor de continuo, por lo cual la temperatura corporal se mantiene constante aunque se pierda siempre calor hacia el mundo exterior, que se encuentra, por lo general, a una temperatura inferior.

Los animales de sangre fría —es decir, todos los animales, excepto las aves y los mamíferos—, por lo común mantienen su temperatura corporal igual a la del medio ambiente. Esto significa que desciende a medida que la temperatura por la noche o en invierno baja, el contenido en energía del cuerpo desciende y el animal terrestre de sangre fría se hace cada vez más lento. (Los animales acuáticos de sangre fría, como los peces, están adaptados a la temperatura que les rodea, que es *siempre* fría, pese a lo cual se muestran lo suficientemente activos.)

Aunque la lentitud es una desventaja, a los animales de sangre fría les puede bastar con un comparativamente menor suministro alimenticio, dado que no han de quemar continuamente alimentos para mantener alta la temperatura corporal. Los animales de sangre caliente (como los seres humanos) pueden mostrarse activos durante todo el tiempo, a condición de alimentarse generosamente si quieren mantenerse lo suficientemente cálidos.

Si la temperatura es muy baja, la pérdida de calor corporal hacia el frío medio ambiente sería tan rápida, que no podría ser compensada por ninguna cantidad de alimento, y el animal se congelaría. Sin embargo, el índice de pérdida de calor se reduce gracias a una capa aislante, como las plumas en las aves, el pelo en los mamíferos, y la ropa en el hombre. (Éste puede elevar también la temperatura del medio ambiente mediante el fuego.)

Por otra parte, si la temperatura es desacostumbradamente elevada, resulta difícil que el calor, generado constantemente en el interior del cuerpo, sea irradiado hacia fuera. (De aquí que con una temperatura de 24 grados Celsius nos sintamos más confortablemente que con cualquiera otra, más alta o más baja.)

Pero en el hombre no se ha de considerar sólo la simple pérdida de calor por irradiación o procesos similares. También transpira, lo cual hace que se extienda por su cuerpo una película de agua. El agua se evapora, y con este proceso se absorbe calor —porque se consume energía al separar las moléculas del agua líquida y formar vapor a partir de las mismas—. El calor necesario para esto es retirado de la superficie corporal, con lo cual se enfría. La sudoración del cuerpo es una especie de aire acondicionado.

Si ya hay considerable vapor en el aire, se enlentece la posterior evaporación. La sudoración se produce más aprisa de lo que se evapora, con lo cual el líquido se acumula en la piel y empezamos a sudar de una forma visible; entonces fracasa el sistema de aire acondicionado, ya que no puede trabajar de una forma apropiada. Ésa es la razón de que puedan soportarse las temperaturas de 30 grados Celsius, aproximadamente, si el aire está del todo seco, mientras que son cada vez más difíciles de aguantar si el aire es húmedo.

La temperatura rara vez supera el nivel del Escalón 4 en la superficie terrestre. El récord de temperatura en la ciudad de Nueva York es 41,1 grados Celsius (106 grados Fahrenheit) a la sombra. En Libia se registró una temperatura a la sombra de 58 grados Celsius (136 grados Fahrenheit), lo cual constituye todo un récord.

ESCALÓN 5
100 grados Celsius (10^2 °C)
375,15 kelvin ($10^{2,57}$ K)

Con los 100 grados Celsius llegamos al punto de ebullición del agua. Pero una temperatura así no se presenta en la superficie de la Tierra, excepto cuando se extrae material de grandes profundidades, como en los manantiales termales y en los volcanes.

A este nivel de temperatura, no es posible ya tratar con la vida tal y como la conocemos (aunque algunas bacterias pueden vivir en las aguas termales y soportar temperaturas cercanas al punto de ebullición).

En promedio, la Luna se halla tan distante del Sol como la Tierra. Pero nuestro satélite carece de atmósfera para absorber el calor solar y, por medio de corrientes de aire, distribuirlo alrededor de su esfera. Además, mientras que cualquier lugar de la superficie terrestre permanece bajo la luz solar sólo durante unas 12 horas seguidas, por término medio, algunos puntos de la superficie de la más lentamente rotante Luna pueden estar sometidos a la luz del Sol más de 350 horas seguidas. Como resultado de ello, algunos lugares de la superficie de nuestro satélite, en el mediodía lunar, pueden alcanzar temperaturas de hasta 117 grados Celsius, o sea, muy por encima del punto de ebullición del agua. (Pero como quiera que no hay agua en la Luna, no puede producirse tal ebullición.)

ESCALÓN 6
316 grados Celsius ($10^{2,5}$ °C)
589,15 kelvin ($10^{2,77}$ K)

Bajo el suelo del océano hay aguas termales que pueden alcanzar los 350 grados Celsius, a causa de las grandes presiones que se dan allí.

Si subimos hasta la atmósfera, la temperatura cae al principio por debajo de los valores superficiales. Sin embargo, cuanto más alto ascendemos, menos densa es la atmósfera, y, llegado el momento, cuando se absorbe la luz solar, al ser distribuida entre unas partículas muchísimo menores, comunica a cada una un contenido energético más elevado del que es posible en la superficie de la Tierra. Y entonces sube la temperatura.

A unos 115 kilómetros de altura, la temperatura atmosférica se encuentra al nivel de temperatura del Escalón 6. Sin embargo, esto no significa que los astronautas puedan correr peligro al pasar por esta región. El calor *total* sigue siendo bajo.

Si pudiéramos bajar profundamente hacia el centro de la Tierra comprobaríamos que se elevan tanto la temperatura como la densidad. A medida que aumenta la temperatura, el calor total presente en un volumen de materia dada crece aún con mayor rapidez. A unos 3 ó 4 kilómetros de profundidad, la temperatura alcanzará los valores del Escalón 6, y allí abajo —si introdujéramos unos instrumentos de perforación a tales profundidades—, la temperatura no podría ser ignorada.

Mercurio, al igual que la Luna, carece de atmósfera y tiene una rotación muy lenta. Además, al estar más cerca del Sol, su temperatura superficial puede alcanzar hasta los 430 grados Celsius, cuando el Sol se encuentra más cerca y se halla directamente por encima del horizonte.

En el Sistema Solar, el planeta de superficie más caliente es Venus. Aunque esté más lejos del Sol que Mercurio, Venus tiene una atmósfera muy densa, compuesta en su mayor parte por dióxido de carbono, el cual absorbe el calor solar y no le permite escapar fácilmente. Por tanto, la temperatura supera a todo cuanto pueda haber en la superficie de la Luna o de Mercurio.

Además, y como quiera que tanto la Luna como Mercurio carecen de atmósfera que pueda distribuir el calor en la franja nocturna, en esos cuerpos cae la temperatura durante los largos períodos nocturnos hasta unos valores muy bajos. En Venus, la densa atmósfera distribuye el calor de una manera eficiente, por lo cual la temperatura superficial es casi la misma (e intolerablemente cálida) en todas partes, desde los polos

hasta el ecuador, tanto de día como de noche. Por doquier y constantemente, la temperatura es de unos 457 grados Celsius.

En el nivel de temperatura del Escalón 6, las sustancias familiares cambian de estado.

En Mercurio, un líquido, en condiciones ordinarias, hierve a los 356,58 grados Celsius. El estaño funde a 231,89 grados Celsius, y el plomo, a 327,4 grados Celsius. Cuando la superficie de Mercurio se halla en su punto más cálido, el mercurio, si existiese allí en forma elemental, se hallaría en vapor, mientras que el estaño y el plomo se licuarían. Y esto ocurriría en cualquier lugar de la superficie de Venus y en cualquier momento.

Hemos alcanzado temperaturas capaces de hacer arder cualquier gas común. El acetileno (C_2H_2) arderá a 335 grados Celsius.

ESCALÓN 7
1 000 grados Celsius (10^3 °C)
1 273,15 kelvin ($10^{3,10}$ K)

A 200 kilómetros sobre la superficie terrestre, los ligeros indicios de aire que pueda haber tendrían una temperatura de 1 000 grados Celsius, circunstancia que se daría también en las densas rocas a 50 kilómetros por debajo de la superficie terrestre.

A medida que aumenta la temperatura (en promedio), se hace más corta la longitud de onda de la radiación electromagnética que emiten todos los cuerpos por encima del cero absoluto. Al alcanzar los 600 grados Celsius, se emite la suficiente radiación en la longitud de onda más larga de la región de luz visible, como para hacer que un cuerpo se vea completamente al rojo, un rojo brillante, a 1 000 grados Celsius. Cuanto más luz de onda corta se añada a unas temperaturas crecientemente elevadas, los objetos adquirirán primero color naranja, luego amarillo-blanco y, finalmente, azul-blanco.

En la atmósfera superior, el aire emite una radiación total demasiado escasa como para que parezca brillar de una forma visible, pero esta sustancia, bajo la Tierra, sería de color al rojo si fuera visible, como ocurre durante las erupciones volcánicas.

La temperatura aumenta a medida que se penetra cada vez más profundamente en el interior de cualquier cuerpo astronómico de importancia. En conjunto, la temperatura aumenta tanto más lentamente cuanto menor sea el cuerpo. Incluso en la Luna, considerablemente más pequeña que la Tierra, la temperatura central puede ser de unos 1 600 grados Celsius.

Semejantes temperaturas no han de encontrarse siempre forzosamente escondidas en el interior del planeta. El Sol se va calentando lentamente a medida que evoluciona. Cuando, al fin, se hinche hasta formar una enorme estrella «gigante roja» —unos siete mil millones de años a partir de este momento—, tanto la superficie de la Tierra como la de la Luna pueden alcanzar unas temperaturas tan elevadas como 1 000 grados Celsius. La Tierra sería ya inhabitable por lo menos mil millones de años antes.

La plata funde a los 960 grados Celsius, el oro, a 1 063 grados Celsius y el cobre, a 1 083 grados Celsius.

Con el descubrimiento del fuego, el hombre aprendió a producir y a usar temperaturas al nivel del Escalón 7. Para obtenerlo se emplean madera, carbón o petróleo, materiales con los cuales se pueden mantener temperaturas entre los 1 500 y los 2 000 grados Celsius.

ESCALÓN 8
3 160 grados Celsius ($10^{3,5}$ °C)
3 433,15 kelvin ($10^{3,536}$ K)

A 1 megámetro por debajo de la superficie terrestre, la temperatura llega al nivel del Escalón 8. Al alcanzar el centro de la Tierra, la temperatura es, por lo menos, de 4 000 grados Celsius y, posiblemente, hasta de 6 000 grados Celsius.

Esta temperatura es tan elevada como la que se encuentra en la superficie de algunas estrellas. Una pálida enana roja, como la Próxima del Centauro, puede tener una temperatura superficial de sólo 2 400 grados Celsius. La temperatura de la superficie del Sol es de unos 5 500 grados Celsius.

Las manchas solares son más frías que el resto de la superficie solar (razón por la cual tienen un aspecto negro, en contraste con la superficie más caliente y sin manchas, aunque no sean auténticamente negras, ya que se verían brillar observadas aisladamente). Las temperaturas de las manchas solares pueden ser de 4 000 grados Celsius en su centro.

Así, pues, en conjunto, la temperatura del núcleo de la Tierra sería tan elevada como la de la superficie del Sol.

El hombre puede producir llamas de temperatura al nivel del Escalón 8. Quemado en el aire, el acetileno mantiene una llama de unos 2 400 grados Celsius de temperatura, exactamente la de la superficie de una estrella pequeña. En oxígeno puro, una llama de acetileno puede alcanzar una temperatura de 3 100 grados Celsius. Ardiendo en oxígeno, el cianógeno (C_2N_2) mantendrá una llama de 4 510 grados Celsius, mientras que la del subnitruro carbónico (C_4N_2) será de 5 250 grados Celsius. Ésta es la llama de temperatura más elevada conseguida por el hombre mediante la combustión química, o sea, muy cerca de la temperatura de la superficie del Sol.

Hay unos cuantos sólidos o líquidos que pueden permanecer en dicha forma a los niveles de temperatura del Escalón 9. El osmio funde a 2 727 grados Celsius y hierve a unos 4 100 grados Celsius. Un trozo de osmio puede permanecer en estado sólido cerca de la superficie de una pequeña estrella enana roja, aunque se vaporizaría cerca de la superficie del Sol.

El metal de punto de fusión más elevado es el tungsteno, que funde a unos 3 415 grados Celsius y hierve a unos 5 000 grados Celsius. Un soplete oxiacetilénico no puede fundir completamente el tungsteno, pero hasta ese metal se convertiría en vapor en la superficie del Sol. Hay unos cuantos compuestos, como el carburo de tungsteno (WC), que hierven sólo a unos 6 000 grados Celsius de temperatura, más allá de la cual todas las sustancias conocidas se encuentran en forma gaseosa, siempre y cuando sea a baja presión.

Los interiores de la Tierra *y* de otros cuerpos planetarios, aunque tengan temperaturas de 6 000 grados Celsius y superiores, son, sin embargo, líquidos, e incluso sólidos, a causa de que la materia allí existente se encuentra sometida a enormes presiones.

ESCALÓN 9
10 000 kelvin (10^4 K)

Al llegar a este punto, ya no es útil distinguir entre la escala Celsius y la escala Kelvin. Una diferencia de 273,15 grados, en 10 000, es menos de un 3 por 100, y aún es mucho menor a medida que aumenta la temperatura. En el nivel de temperatura del

Escalón 9, y más arriba, hemos de elegir una de las escalas y, dado que la Kelvin es preferible desde el punto de vista científico, nos quedaremos con ella.

Las estrellas de secuencia principal más masivas que el Sol tienen una temperatura más elevada en la superficie. Sirio, que es unas tres veces más masiva que el Sol, posee una temperatura superficial de unos 10 000 kelvin.

Las estrellas enanas blancas son mucho más pequeñas que el Sol en cuanto a masa, y pueden no ser más masivas, aunque, por otra parte, si son lo suficientemente jóvenes, su superficie es más cálida, Sirio B, la enana blanca compañera de Sirio, tiene una temperatura de 10 000 kelvin, exactamente igual que Sirio.

En el Sol hay puntos en que la temperatura superficial es inferior a lo normal, y otros en que es más elevada que lo normal. Ocasionalmente se producen explosiones de energía en la superficie solar en forma de «llamaradas ». Tales erupciones —que, por lo común, sólo duran entre unos cuantos minutos y una hora—, tienen temperaturas de 15 000 kelvin aproximadamente.

ESCALÓN 10
31 600 kelvin ($10^{4,5}$ K)

Las estrellas mayores y más masivas de secuencia principal, tienen temperaturas superficiales que se hallan dentro del nivel del Escalón 10, y sólo raramente alcanzan los 40 000 kelvin. Una estrella enana blanca recién formada puede tener una temperatura superficial de 50 000 kelvin.

No obstante, la parte más fría es su superficie. La temperatura aumenta a medida que nos adentramos en su interior y que subimos en la atmósfera (lo mismo que en la Tierra). Por ejemplo, a unos 1,5 megámetros por encima de la superficie visible del Sol, la temperatura es de unos 200 000 kelvin. Naturalmente, disminuye con la altura el calor total de un volumen determinado de atmósfera solar puesto que, si bien consideradas individualmente, las partículas contienen más energía, el número total de las mismas es un determinado volumen disminuye con más rapidez con la que aumenta el contenido en energía de cada partícula.

El núcleo de un pequeño planeta como la Tierra puede rivalizar con la temperatura superficial de una estrella media como el Sol, si bien cabe esperar que sea más elevada la de un planeta grande. El núcleo central de Júpiter puede tener una temperatura de 54 000 kelvin, o sea, ser más cálido que la superficie de cualquier estrella de secuencia principal.

Prosiguiendo con escalones simples, podemos imaginar que estamos cada vez más arriba en la atmósfera y más abajo en el interior del Sol y de otras estrellas, pero esto no sería muy excitante que digamos. Por tanto, saltemos un poco.

ESCALÓN 13
1 000 000 de kelvin (10^6 K)

La corona es la atmósfera más exterior del Sol, y resulta visible (con un equipo especial) sólo durante un eclipse total. Entonces, su luz es parecida a la que ofrece la Luna llena. Por ello, tal vez parezca que se trata de un vapor relativamente frío, pero no es así. Su brillo apagado se debe a la baja densidad del gas, la cual es, como máximo, sólo de una cienbillonésima parte de la densidad atmosférica al nivel del mar. Su

temperatura es de 1 000 000 de kelvin en su punto más bajo, y se eleva a medida que nos alejamos del Sol.

ESCALÓN 14
3 160 000 kelvin ($10^{6,5}$ K)

En algunos puntos de la corona, la temperatura llega hasta los 4 000 000 kelvin. Hay «puntos cálidos», en el espacio contiguo a Júpiter y Saturno, donde unas partículas débilmente esparcidas —que poseen la energía de los enormes campos magnéticos de esos dos planetas gigantes— alcanzan temperaturas más elevadas aún, a juzgar por las energías de dichas partículas, muy ocasionales. Las naves espaciales atraviesan semejantes puntos cálidos sin ser adversamente afectadas.

Un ejemplo mucho más importante de tales temperaturas, de densidades y presiones muy elevadas, lo tendríamos en el interior de las estrellas. Por ejemplo, a los 600 megámetros bajo la superficie del Sol, la temperatura sería de unos 6 000 000 kelvin.

ESCALÓN 15
10 000 000 de kelvin (10^{7} K)

Ahora nos encontramos en el ámbito de temperatura correspondiente a los centros de las estrellas. En el centro de una pequeña enana blanca, sería de unos 8 000 000 kelvin, mientras que nuestro Sol alcanza, probablemente, los 15 000 000 kelvin.

Una estrella neutrónica es muy parecida a un masivo centro estelar no rodeado por una capa de materia relativamente normal. Su temperatura superficial se calcula en unos 8 000 000 kelvin, semejante al núcleo de las estrellas corrientes.

ESCALÓN 16
31 600 000 kelvin ($10^{7,5}$ K)

Sorprendentemente, los científicos han conseguido temperaturas más elevadas que las del centro del Sol. Tratando delgadas volutas de hidrógeno con campos electromagnéticos, con rayos láser, etcétera, han dado a los pequeños núcleos de hidrógeno presentes unas enormes energías individuales. Y lo han conseguido en su búsqueda de una fusión nuclear controlada, al objeto de que el hombre pueda disponer del mismo tipo de energía que nos brinda el Sol, aunque utilizándola en los sitios y cantidades deseados.

Las mayores temperaturas obtenidas hasta ahora son de unos 67 000 000 kelvin, lo cual supera el nivel del Escalón 16, y es unas cuatro veces el del núcleo del Sol. (El núcleo del Sol tiene unas enormes presiones que trabajan hacia la fusión, mientras que los científicos no lo hacen así. En efecto, deben conseguir niveles de temperatura mucho más elevados que los del centro del Sol, aunque con menor presión, al objeto de desarrollar una fusión controlada.)

ESCALÓN 17
100 000 000 kelvin (10^8 K)

Si mirásemos hacia atrás en el tiempo, veríamos un Universo cada vez más pequeño, a medida que nos acercáramos al *Big Bang*, cuando toda su masa se reducía a un volumen infinitesimal. Cuanto más retrocediéramos en el tiempo, tanto menor sería el volumen en que estaría comprimida la energía total del Universo, y, en consecuencia, las temperaturas serían cada vez más elevadas aún que las que puedan reinar en el interior de las estrellas.

Así, unas tres horas después del *Big Bang,* el Universo era tan pequeño, que habría cabido muy bien en la órbita de la Tierra, y su temperatura media sería de unos 100 000 000 kelvin.

ESCALÓN 18
316 000 000 kelvin ($10^{8,5}$ K)

Las temperaturas alcanzadas con la fusión incontrolada son muy superiores a las conseguidas por el hombre mediante la fusión controlada. Se estima que las temperaturas en el centro de una gran bomba de hidrógeno se elevan hasta los 400 000 000 kelvin.

ESCALÓN 19
1 000 000 000 de kelvin (10^9 K)

Naturalmente, con la bomba de hidrógeno no se ha llegado al límite. En efecto, en el núcleo de una estrella neutrónica pueden reinar temperaturas hasta de 800 000 000 kelvin.

ESCALÓN 21
10 000 000 000 kelvin (10^{10} K)

Las explosiones de las estrellas que estallan son, en cierta forma, explosiones de bombas de hidrógeno, aunque enormemente más vastas y más energéticas que todo cuanto el hombre haya podido crear. Una gran supernova puede alcanzar, aunque brevemente, temperaturas que llegan hasta los 10 000 000 000 kelvin.

Un segundo después del *Big Bang,* cuando el volumen del Universo tal vez fue más pequeño que el de nuestro Sol actualmente, pudo tener una temperatura de 10 000 000 000 kelvin.

ESCALÓN 25
1 000 000 000 000 de kelvin (10^{12} K)

Una diezmilésima de segundo después del *Big Bang,* cuando el volumen del Universo no era superior al de un gran asteroide actual, tendría una temperatura media de 1 000 000 000 000 kelvin.

ESCALÓN 65
100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 (10^{32} K)

Las actuales teorías físicas no permiten a los científicos estimar condiciones inferiores a 10^{-43} segundos después del *Big Bang.* En ese instante, todo el Universo era muchísimo menos voluminoso que un simple protón tal como lo conocemos hoy, y se cree que su temperatura se hallaba en el nivel del Escalón 65, o sea, que era en ese caso de aproximadamente, 100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 (100 000 quintillones) kelvin. Esto nos fuerza a dejar de seguir subiendo por la escalera de la temperatura.

En 65 escalones, que han cubierto 32 órdenes de magnitud, hemos ido desde la temperatura de un día invernal, a casi las proximidades del *Big Bang.*

LA ESCALERA DE LA TEMPERATURA HACIA ABAJO

ESCALÓN 1
316 kelvin ($10^{2,5}$ K)

Al bajar por la escalera de la temperatura hemos de volver al grado Celsius, desde el cual empezamos a ascender. Al multiplicar dicha cifra por 0,316 en cada escalón —como ya dijimos al bajar por los escalones—, simplemente nos acercaríamos cada vez más a los 0 grados Celsius, y nunca podríamos descender por debajo. En el mismo caso nos encontraríamos si empezásemos a *cualquier* temperatura por encima de los 0 grados Celsius.

Por tanto, debemos comenzar por -1 grado Celsius, y tratar de multiplicarlo por 0,316. De nuevo nos acercaríamos cada vez más a los O grados Celsius, y ello, para *cualquier* temperatura negativa.

Considerando esto, permítasenos utilizar la escala kelvin, como ya hicimos para las temperaturas elevadas. Comenzaremos con 316 kelvin.

Una temperatura de 316 kelvin (42,85 grados Celsius ó 109,13 grados Fahrenheit) se halla cerca de la temperatura máxima registrada a la sombra. Ya hemos considerado esa región al ascender por la escalera, por lo cual no nos detendremos en ello. Lo que ahora hacemos es bajar.

ESCALÓN 2
100 kelvin (10^{2} K)

Los 100 kelvin equivalen a -173,15 grados Celsius, por lo cual, al pasar del Escalón 1 al 2, atravesamos todo el ámbito de temperatura en la superficie de la Tierra o cerca de ella.

La temperatura más fría registrada hasta ahora en Nueva York, según los datos que figuran en la Oficina Meteorológica, es de 247 kelvin (-25 grados Celsius ó -14 grados Fahrenheit).

La temperatura más fría observada hasta el momento en todo el mundo —excluyendo la Antártida— se registró en Verjoyansk (Siberia), donde el termómetro marcó los 203 kelvin (-70 grados Celsius o -94 grados Fahrenheit). En Voskok, que es la base soviética en la Antártida y la parte más fría de ese continente glacial, se registró una temperatura de 185 kelvin (-88 grados Celsius, ó -127 grados Fahrenheit).

La temperatura de la atmósfera de la Tierra es muy elevada en las regiones superiores y baja en las más inferiores, para alcanzar el punto más bajo, a unos 85 kilómetros de altura. A tal altura, se observó en cierta ocasión una temperatura de 130 kelvin (-143 Celsius ó -225 Fahrenheit). Es la más fría observada nunca en la Tierra, que se aproxima ya al nivel de temperatura del Escalón 2.

En otros planetas del Sistema Solar interior no son mejores las cosas. Mercurio, tan cálido en su superficie bajo su despiadado Sol, tiene una noche que se acerca a un mes terrestre de duración. Su superficie se enfría hacia el espacio exterior, y cuando se

presenta la tan retrasada mañana y el Sol se dispone a abrasar una vez más la superficie, se ha alcanzado ya una temperatura muy baja: unos 150 kelvin (por tanto, mucho más fría que la más gélida noche antártica).

Marte está más alejado del Sol que Mercurio, pero su noche tiene sólo algo más de 12 horas de duración, y por la mañana, su superficie está a una temperatura de 170 kelvin. La Luna, con una noche de dos semanas, alcanza por la mañana los 110 kelvin.

Los planetas exteriores tienen bajas temperaturas, aun cuando brille el Sol. Por ejemplo, la temperatura de Júpiter en la capa visible de nubes de la superficie es de unos 120 kelvin. Así, pues, si queremos encontrar temperaturas inferiores al nivel del Escalón 2, hemos de buscarlas más allá de Júpiter.

A bajas temperaturas, los elementos líquidos se congelan hasta convertirse en sólidos, mientras que las sustancias gaseosas se condensan en líquidos y, llegado el momento, se solidifican.

Por ejemplo, entre los líquidos, el mercurio se congela a 234,3 kelvin y el alcohol etílico, a los 158,6 kelvin.

Entre los gases, el cloro se licúa a los 239,1 kelvin, y se solidifica a los 172,1. El xenón, uno de los gases nobles que se encuentra en la atmósfera en pequeñas cantidades, se licúa a los 165 kelvin y se solidifica a los 161,3 kelvin, mientras que el butano (gas usado comúnmente como combustible) se licúa a los 261,5 kelvin y se solidifica a los 113,6 kelvin.

A los 100 kelvin, ocho de las sustancias que consideramos gases continúan aún en estado gaseoso: argón, flúor, helio, hidrógeno, neón, nitrógeno, oxígeno y monóxido de carbono (CO). Tales gases continuarán en su estado en todos los mundos del Sistema Solar que no vayan nunca más lejos de la órbita de Júpiter.

ESCALÓN 3
31,6 kelvin ($10^{1,5}$ K)

A este nivel de temperatura hemos de considerar ya el Sistema Solar exterior. La superficie visible de nubes de Saturno tiene unos 90 kelvin; la de Urano, 65 kelvin; la de Neptuno, 50 kelvin, y la de Plutón, en su máximo alejamiento del Sol, tal vez a 40 kelvin. Así, pues, ninguno de los cuerpos planetarios llega al nivel de temperatura del Escalón 3.

Sin embargo, hay cometas que se alejan mucho más de la órbita de Plutón, o que (se cree) giran en amplias órbitas, parte de las cuales la describen más allá de Plutón. Durante las mismas pueden darse temperaturas inferiores a los 31,6 kelvin y, dado que son cuerpos pequeños —de sólo escasos kilómetros de diámetro—, podrían encontrarse a las bajas temperaturas citadas de un extremo a otro de los mismos.

Algunos de los gases que permanecen como tales a nivel de temperaturas del Escalón 2, se licúan, e incluso se solidifican, al nivel de temperatura del Escalón 3. Así, el flúor se licúa a los 85,0 kelvin y se solidifica a los 83,8 kelvin; el oxígeno se licúa a los 90,2 kelvin y se solidifica a los 54,5 kelvin; el nitrógeno se licúa a los 77,4 kelvin y se solidifica a los 63,2 kelvin; y el monóxido de carbono se licúa a los 81,7 kelvin y se solidifica a los 68,2 kelvin.

En Plutón, todos los gases serían sólidos.

Sólo tres gases siguen siéndolo a los 31,6 kelvin: hidrógeno, helio y neón. Permanecerían en su estado en la superficie de cualquier cuerpo conocido del Sistema Solar.

Los científicos trabajaron durante todo el siglo XIX para alcanzar bajas temperaturas, y en la última década de dicho siglo consiguieron, finalmente, temperaturas más bajas que las de la superficie de Plutón (que aún no se había descubierto en aquel tiempo).

Los científicos comprobaron que las sustancias muy frías podían tener propiedades que no se encontraban nunca a temperaturas corrientes. Una de ellas es la «superconductividad». Una sustancia es superconductiva cuando ofrece cero resistencia a una corriente eléctrica. Una comente eléctrica dispuesta en un anillo de materia superconductiva, recorrerá para siempre el anillo, si se mantiene por debajo de una cierta «temperatura de transición» o no se somete a perturbaciones.

La mayor temperatura observada hasta ahora en la superconductividad se presenta en el caso de una aleación de niobio, aluminio y germanio, donde la temperatura de transición es de 23 kelvin.

ESCALÓN 4
10 kelvin (10^1 K)

Al adentrarnos en el nivel de temperatura del Escalón 4, han sido vencidos ya dos de los tres gases últimos. El neón se licúa a los 27,0 kelvin y se solidifica a los 24,6 kelvin, mientras que el hidrógeno se licúa a los 20,4 kelvin y se solidifica a los 14,0 kelvin. A los 10 kelvin, sólo el helio sigue siendo gas.

La temperatura de transición más elevada para la superconductividad en cualquier elemento puro es la del niobio: 9,26 kelvin.

ESCALÓN 5
3,16 kelvin ($10^{0,5}$ K)

Al llegar aquí se rinde el helio, que se licúa a una temperatura de 4,2 kelvin. Sin embargo, a los 3,16 kelvin aún no se ha solidificado, o sea, que sigue siendo líquido. Es la única sustancia que a este nivel de temperatura existe aún como algo no sólido.

El helio se presenta en dos variedades isotópicas: el helio-4 y el helio-3. Sólo una muy pequeña fracción del helio, tal y como existe en la Naturaleza, es helio-3. Si se aisla y recoge, se licúa a unas temperaturas más bajas aún que el helio-4. El punto de licuefacción del helio es de 3,2 kelvin, lo cual se halla casi exactamente en el nivel de temperatura del Escalón 5.

La temperatura media del Universo es de unos 3 kelvin.

Supongamos que un cuerpo localizado en el espacio entre las galaxias, recibe del Universo sólo la débil luz de una estrella, partículas de rayos cósmicos, etcétera. Si dicho cuerpo no contuviese energía para empezar, absorbería parte de la radiación y las partículas, con lo cual conseguiría energía, parte de la cual la irradiaría, a su vez, al espacio.

Eventualmente, se alcanzará un equilibrio. Entonces, el cuerpo reirradiaría energía con la misma rapidez con que la absorbe, y la temperatura de equilibrio en dicho punto sería de unos 3 kelvin.

Esto significa que es muy improbable que exista algo en el Universo que se halle a una temperatura de equilibrio inferior a los 3 kelvin. Hacia 1920 el hombre obtuvo en el laboratorio unas temperaturas muy bajas, que no es probable existan en ninguna otra parte del Universo, excepto, tal vez, en laboratorios de seres inteligentes de otros mundos —si es que existen— de tecnologías tan avanzadas como las nuestras.

Digamos que el primer caso de superconductividad descubierto fue el del mercurio, cuya temperatura de transición es de 4,15 kelvin.

ESCALÓN 6
1 kelvin (10^0 K)

A la temperatura de 1 kelvin, el helio es aún líquido. En realidad, no se hiela en absoluto (a las presiones ordinarias), sin importar lo baja que llegue a ser la temperatura. Incluso en el cero absoluto, aún se encuentra en las sustancias un pequeño indicio de energía. La temperatura es el cero absoluto, porque a la misma ya no puede quitarse más energía por ningún método conocido, ni siquiera en teoría, pero el último vestigio de *irremovible* energía basta para mantener líquido al helio.

Sin embargo, se descubrió que, a 1 kelvin y menos, sometiendo el helio líquido a una presión de unas 25 atmósferas, éste se solidifica por lo cual el helio sólido *puede* existir, aún no sometido a una presión atmosférica.

Existen 17 elementos conocidos que pueden hacerse superconductores en las proximidades de 1 kelvin. Por ejemplo, el galio tiene una temperatura de transición de 1,091 kelvin. La del talio es algo más elevada: 2,39 kelvin; la del osmio, algo más baja: 0,655 kelvin.

A una temperatura de 2,2 kelvin, el helio cambia desde un líquido de propiedades normales (helio I), hasta otro sin precedentes (helio II). Como un ejemplo de sus extrañas propiedades, el helio II es «superfluido» y puede moverse a través de muy pequeños orificios sin ninguna fricción medible.

Se descubrió que el helio II implica sólo helio 4. Así, el helio 3 conserva propiedades ordinarias incluso a temperaturas tan bajas como 1 kelvin.

ESCALÓN 7
0,316 kelvin ($10^{-0,5}$ K)

Los intentos originales, por parte de los científicos, para obtener las bajas temperaturas implican, en esencia, recurrir a la evaporación de una forma u otra. La evaporación, como ya he dicho, es un proceso que absorbe calor, y, si la situación se maneja adecuadamente, el calor absorbido procederá del cuerpo del líquido que se está evaporando.

En los años 1920, este proceso llegó a un punto muerto, con temperaturas de 0,4 kelvin o sea, muy cerca del nivel del Escalón 7. Esto permitiría conseguir una temperatura de transición para el rutenio, que es de 0,49 kelvin, pero no suficiente para el titanio, que es de 0,39 kelvin.

Pero entonces, en los años 1920, se emplearon métodos magnéticos, que podían hacer bajar algo las temperaturas obtenibles. Hasta ahora se conocen cuatro elementos que se convierten en superconductores sólo a temperaturas por debajo de 0,4 kelvin. Tal vez si pudiesen estudiarse elementos a una temperatura lo suficientemente baja, se

comprobaría que cada uno de ellos —incluso cada sustancia, elemento o no— se convierte en superconductor.

ESCALÓN 8
0,1 kelvin (10^{-1} K)

A principios de los años 1930 se consiguieron unas temperaturas tan bajas como de 0,13 kelvin. La temperatura de transición del iridio es de 0,14 kelvin, y la del hafnio, de 0,09 kelvin.

ESCALÓN 10
0,01 kelvin (10^{-2} K)

Se ha encontrado un solo elemento con una temperatura de transición más baja que la del hafnio. Es el tungsteno, que se transforma en superconductor sólo a una temperatura de 0,012 kelvin.

ESCALÓN 11
0,003 16 kelvin ($10^{-2,5}$ K)

La temperatura más baja conseguida con métodos magnéticos es de 0,003 kelvin. Para descender más aún, los científicos emplean métodos sutiles, en que intervienen mezclas de helio 3, respecto al cual no se pensaba antes que adquiriese las propiedades del helio II, propiedades que sí tiene el helio 4, aunque sólo a unas temperaturas por debajo de los 0,002 5 kelvin.

ESCALÓN 15
0,000 031 6 kelvin ($10^{-4,5}$ K)

Con ayuda de la mezcla helio 3-helio 4, los científicos han alcanzado al fin temperaturas tan bajas como 0,000 02 kelvin, que han mantenido durante un significativo período de tiempo.

ESCALÓN 21
0,000 000 031 6 kelvin ($10^{-7,5}$ K)

Se ha informado que las temperaturas más bajas obtenidas de momento por los científicos son de 0,000 000 05 kelvin.

Aunque se han alcanzado temperaturas de sólo una veintemillonésima de grado restadas del cero absoluto, carece de utilidad tratar de conseguir nunca el cero absoluto. Cada escalón hacia ese objetivo resulta más difícil de bajar que el anterior. Aunque cada vez quede menos calor por extraer, la cantidad que puede extraerse mediante cualquier proceso imaginable, es siempre menor que todo el calor contenido.

EPILOGO

A través de minuciosos y regulares escalones, hemos llegado a una mejor comprensión de la medición del Universo, en cuanto a algunos de sus más importantes aspectos físicos.

Más asombrosos aún que la vastedad de la comprensión alcanzada por el pensamiento humano, es la total improbabilidad tanto de tal logro como de la inconcebible buena fortuna de compartirlo.

No es probable que en la Tierra pueda existir la conciencia sin vida, ni que, entre los tal vez veinte millones de especies que han existido en ella en los últimos tres mil millones de años aproximadamente, sólo una, el *Homo sapiens,* haya adquirido la conciencia de una clase que pueda aplicarse a algo más que a los deseos inmediatos y los miedos del momento.

Sólo el cerebro humano ha tenido la habilidad de proveer a todas las necesidades materiales de subsistencia, y aun sobrarle capacidad para preocuparse del Universo en toda su abstracción, sin más propósito que satisfacer su curiosidad y admiración.

Incluso los escasos cerebros más grandes que los del hombre —los del elefante, delfín y ballena— sólo parecen preocuparse de su inmediato entorno y necesidades, pues no son capaces de nada más. No poseemos pruebas de que tengan ninguna capacidad de previsión y abstracción, excepto de algunas formas triviales.

Lo mismo podemos decir de las especies más íntimamente relacionadas con nosotros, ya vivas (gorilas y chimpancés), ya extintas (los homínidos que nos precedieron, incluyendo el *Homo erectus).*

Somos miembros de una especie única en la Tierra, por lo cual, y dado que hasta ahora no tenemos pruebas de que haya vida en algún otro lugar del Universo, es posible que seamos el único conglomerado de materia viviente capaz de considerar, medir y aprehender tanto el Universo como a sí mismo.

Pero no acaba aquí nuestra buena fortuna. Es posible que el *Homo sapiens* apareciera en la tierra 350 000 años atrás, pero sólo hace 300 años (o sea, menos de 1/10 parte del 1 por 100 del total) que tenemos una vaga idea de cómo puede ser la escala de medición del Universo, y únicamente hace 60 años más o menos, conocemos que el Universo en su aparentemente[1] auténtica vastedad.

Hasta la década de 1670 no se conocieron las distancias del Planeta; hasta la de 1830 no se tuvo idea de las vastas dimensiones de las estrellas, y sólo en la década de 1920 pudimos captar las aún más inmensas distancias de las galaxias.

También hacia 1670 se desplegó ante nosotros por primera vez el mundo de la vida microscópica, aunque hasta la década de 1770 no se empezaron a estudiar adecuadamente las bacterias, y sólo en la década de 1890 se estableció la existencia de los virus.

Sólo en la primera década del siglo XIX se empezó a estudiar firmemente el átomo, y en la primera década de nuestro siglo se consiguió medir su tamaño de una forma ajustada y entrever la existencia de las partículas subatómicas.

---

[1] Sin embargo, nos hemos equivocado antes, y es posible que volvamos a hacerlo; se nos muestra una vastedad adicional y nos damos cuenta de que lo que sabemos o creemos saber ahora es sólo una parte muy pequeña de un todo mucho mayor.

También ya en nuestro siglo se calculó la existencia del Sistema Solar y del Universo, la velocidad de la luz, se determinaron las temperaturas de los núcleos estelares o se contempló el asunto de los agujeros negros y de los quarks.

Por tanto, vivimos aún en esa muy estrecha faja de tiempo en que la Humanidad ha conseguido, al fin, una comprensión adecuada del Universo, y por lo cual podemos considerarnos afortunados de haber nacido en nuestro tiempo, porque, a fin de cuentas, podíamos haber nacido antes...

En realidad, el hombre *actual*, en su inmensa mayoría, carece de tiempo, de medios y de oportunidad —e incluso, en muchos casos, de deseo— de conocer el Universo en el que habita. Como grupo, sólo los físicos comprenden la escala de lo que materialmente existe. Y es posible que la mayoría de ellos lo hagan sólo cuando tengan una pausa para pensar al respecto, lo cual sucede raramente, si es que ocurre alguna vez.

En general, es muy probable que se hallen tan preocupados y comprometidos por la subsistencia diaria, como para poderse comprometer debidamente en este sentido.

Así, pues, es posible que sólo unas cuantas personas —como los lectores de este libro— puedan contemplar de una forma seria la escala de la medición del Universo—visión que constituye sólo una parte peculiar de nuestra especie y de nuestra generación— con el consiguiente asombro y maravilla.